

施耐德电气产品研发项目进度管理优化研究

中文摘要

施耐德电气是一家世界 500 强的百年外资企业，其上海研发中心的工业自动化事业部专注于研发工业自动化产业相关设备。目前工控行业市场趋于饱和，细分市场将成为行业发展的未来趋势。想在工控行业继续保持头部企业的市场地位，只有通过缩短研发周期来迅速响应市场需求以此来达到占领更多的市场份额，这样才可以确保企业能够长期发展并保持持久的竞争力。那么如何保证产品研发项目能够高效率高质量的完成是目前施耐德电气面临的重大课题。

基于上述背景，作者查阅大量书籍，论文，期刊等资源，通过梳理出和项目进度管理相关的理论知识，然后运用和项目进度管理理论知识相关的方法和工具其中包括：WBS 工作分解、项目活动网络图、CPM 关键路径、PERT、CCPM 关键链管理技术，对公司产品研发项目进度管理进行优化设计。本文首先阐述了公司产品研发项目的现状，公司架构、项目管理中各阶段的工作和顺序，以及项目活动节点必须交付清单，利用专家判断和访谈法找出导致项目进度延误的表象问题，并运用因果关系分析工具对主要的问题溯源找出根本原因。

研究发现，造成项目进度延误的主因是研发项目进度管理计划不合理、研发项目进度控制不够完善、研发项目的组织架构不合理。针对根本原因又进一步对研发项目进度提出优化措施方案，包括：优化产品研发项目进度计划；强化研发项目进度数字化监控和进度过程控制；调整研发项目组织架构。通过优化设计方案的前后对比，发现优化方案可以缩短研发项目周期、对活动时间的估算和活动之间逻辑关系的编排更科学合理；监控过程更缜密，可以及时地发现问题并整改；调整后的研发组织架构使项目沟通更顺畅，做事更高效。接下来在制度、人员、技术方面对实施优化方法提出了保障性措施和具体的实施步骤。在论文最后对全文进行总结和对未来的展望。

本论文采用理论和实践相结合的方法，研究的目的是结果主要是将关键链管理技术运用到工业产品研发的项目管理中，对于工业自动化设备公司和国内国外相同企业提高研发项目进度管理水平提供有价值的参考信息。

关键词：项目进度管理，关键路径，关键链

RESEARCH ON OPTIMIZATION OF SCHNEIDER ELECTRIC PRODUCT DEVELOPMENT PROJECT SCHEDULE

Abstract

Schneider electric is one of the world's top 500 enterprises with 100 years of foreign investment. The industrial automation division of its Shanghai R&D center focuses on the research and development of industrial automation equipment. At present the industrial control industry market is saturated, segmentation market will become the future trend of the industry development. To continue to keep the head in industrial control industry the market position of the enterprise, only by shortening development cycles to quickly response the market demand in order to achieve to occupy more market share, so that can ensure that the enterprise can long-term development and keep the lasting competitiveness. So how to ensure that the product research and development projects can be completed with high efficiency and high quality is a major issue facing Schneider Electric.

Based on the above background, the author consults a large number of books, papers, journals and other resources, sorts out the theoretical knowledge related to project schedule management, and then uses methods and tools related to project schedule management theoretical knowledge, including: WBS work breakdown, project activity network Figure, CPM critical path, PERT, CCPM critical chain management technology, optimize the design of product research and development project schedule management. At first, this paper expounds the present situation of the company product research and development projects, the company structure, project management and sequence of each phase in the work, as well as the project activity node must delivery list, expert judgment and the interview method is used to identify the project schedule delay the appearance of problem, and using the causality analysis tools to the main problem back to find the root cause.

It is found that unreasonable schedule management plan, imperfect schedule control and unreasonable organizational structure of R&D project are the main causes

of project schedule delay. Research further put forward the R&D project schedule optimization measures, including: optimize the R&D project schedule plan; Strengthen the digital monitoring and process control of R&D project progress; Adjust the organizational structure of R&D projects. Through the comparison of the optimized design scheme, it is found that the optimized scheme can shorten the R&D project cycle, estimate the activity time and arrange the logical relationship between activities more scientifically and rationally. The monitoring process is more rigorous, so that problems can be found and corrected in time. After the adjustment of the R & D organizational structure to make the project communication more smoothly, work more efficiently. Then in the system, personnel, technical aspects of the implementation of the optimization method to put forward the safeguard measures and specific implementation steps. At the end of the paper, the thesis summarizes the whole text and looks forward to the future.

This paper adopts the method of combining theory and practice. The purpose and results of the research are mainly to apply the critical chain management technology to the project management of industrial product research and development, and to provide valuable reference information for industrial automation equipment companies and the same domestic and foreign enterprises to improve the progress management level of research and development projects.

Keywords: Project schedule management ,critical path, critical chain

目 录

| | |
|----------------------------------|----|
| 中文摘要 | I |
| Abstract | II |
| 第一章 绪论 | 1 |
| 1.1 研究背景与意义 | 1 |
| 1.1.1 研究背景 | 1 |
| 1.1.2 研究意义 | 2 |
| 1.2 研究内容与方法 | 3 |
| 1.2.1 研究内容 | 3 |
| 1.2.2 研究方法 | 4 |
| 第二章 相关理论与管理工具综述 | 6 |
| 2.1 项目管理 | 6 |
| 2.1.1 项目管理定义 | 6 |
| 2.1.2 产品研发项目管理的特点 | 6 |
| 2.2 项目进度管理 | 7 |
| 2.2.1 项目进度管理的概念 | 7 |
| 2.2.2 关键链管理方法 | 10 |
| 2.2.3 Microsoft Project 软件 | 11 |
| 第三章 施耐德电气产品研发项目进度管理现状及问题分析 | 12 |
| 3.1 施耐德电气公司伺服驱动器产品项目概述 | 12 |
| 3.1.1 伺服驱动器产品简介 | 12 |
| 3.1.2 伺服驱动器产品框架介绍 | 12 |
| 3.1.3 伺服产品的项目特点概述 | 13 |
| 3.2 产品研发项目进度管理现状 | 13 |
| 3.2.1 施耐德电气公司的组织架构 | 13 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 3.2.2 施耐德电气公司产品研发项目管理的各阶段工作及顺序..... | 18 |
| 3.2.3 项目中各部门交付清单..... | 19 |
| 3.2.4 时间估算..... | 22 |
| 3.3 产品研发项目进度管理的问题查找..... | 23 |
| 3.3.1 基于项目进度趋势总表查找..... | 23 |
| 3.3.2 运用鱼骨图查找..... | 26 |
| 3.4 产品研发项目进度管理问题成因的分析..... | 26 |
| 3.4.1 物料供货延期的分析..... | 28 |
| 3.4.2 测试设备不足影响项目进度的分析..... | 28 |
| 3.4.3 项目人员流失影响项目延期的分析..... | 28 |
| 3.4.4 项目人员技能不够的分析..... | 28 |
| 3.4.5 对沟通协调问题的分析..... | 29 |
| 3.4.6 项目进度状态不能及时跟进的分析..... | 30 |
| 第四章 施耐德电气产品研发项目进度管理优化措施..... | 32 |
| 4.1 产品研发项目进度管理优化目标..... | 32 |
| 4.1.1 项目进度管理优化的目标..... | 32 |
| 4.1.2 项目进度管理优化的原则..... | 32 |
| 4.2 优化项目进度计划方法..... | 32 |
| 4.2.1 WBS 活动任务顺序优化并重新分解..... | 32 |
| 4.2.2 优化项目活动网络图..... | 37 |
| 4.2.3 基于 PERT 技术优化时间估算和关键路径..... | 39 |
| 4.2.4 运用 CCPM 技术优化研发项目计划..... | 44 |
| 4.2.5 优化设计效果的评估..... | 48 |
| 4.3 强化项目进度管理数字化在线监控及项目控制流程..... | 48 |
| 4.3.1 监控项目进度计划..... | 48 |
| 4.3.2 监控项目变更管理流程..... | 51 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 4.3.3 监控设计和开发评审流程..... | 55 |
| 4.3.4 优化设计效果的评估..... | 58 |
| 4.4 优化产品研发组织结构..... | 58 |
| 第五章 施耐德电气产品研发项目进度优化保障与实施..... | 60 |
| 5.1 项目进度优化的保障措施..... | 60 |
| 5.1.1 制度保障..... | 60 |
| 5.1.2 人员保障..... | 64 |
| 5.1.3 技术保障..... | 64 |
| 5.2 项目进度管理优化的实施..... | 65 |
| 第六章 结论与展望..... | 68 |
| 6.1 研究结论..... | 68 |
| 6.2 研究展望..... | 68 |
| 参考文献..... | 70 |
| 附录 A..... | 72 |
| 附录 B..... | 78 |
| 附录 C..... | 82 |
| 致 谢..... | 84 |
| 作者简介..... | 85 |

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

(1) 行业背景

随着工业制造进入 21 世纪，国内外把工业制造的转型和提升提到了更高的战略层面，尤其是看到美国在 2008 年经历了金融危机之后，实体经济的持续疲惫，意识到过度依赖虚拟经济带来的繁荣仅仅是昙花一现，于是，各国大喊“振兴制造业”和“再工业化”等口号。德国率先提出了“工业 4.0”概念，随后日本发布了制造业竞争战略，其次是印度，并提出了“印度制造”概念^[1]。

面对国外工业发展态势的大背景下，中国总理李克强在 2015 年 3 月首次提出了“中国制造 2025”的概念，并在同年 5 月份的《政府工作报告》中印发^[1]，中国在 2020 年基本实现工业化，中国作为工业大国，现阶段还处在大而不强，在高端智能制造装备“十二五”规划中也提出要加快优化产业结构，大力发展制造装备，由此看出工业自动化未来在中国是必走之路。

伴随着工业发展路径的演进和变迁，拥有百年历史沉淀的外资企业们，凭借着多元化工业领域的高端产品应用以及推陈出新的产品解决方案，在每一次工业变革中占据着主要席位^[2]，现如今贸易全球化日趋成熟，这些巨头们也把目光放在了亚太地区，品牌实现国产化，降低成本成为目前的重中之重，但随之而来给项目进度管理带来了巨大的挑战。

项目进度管理最早要追溯到上世纪上中叶，项目进度管理主要应用在国防和军事项目，此时才刚刚进入萌芽阶段，一直到 50 年代后期项目进度管理取得突破性成就，CPM 技术和 PERT 技术在美国横空出世。项目进度管理才作为一门新兴科学挂在管理学科下之后开始逐渐成熟，但主要还是应用在基础设施建设中。在 20 世纪 70 年代，产品开发项目管理在一些中型企业中开始推广应用。从 70 年代末到 80 年代，许多小企业也开始纷纷把项目进度管理引入到自己公司中。这时，项目进度管理已被认为是增强活力和实现复杂的公司目标的好方法。80 年代后期，伴随着企业全球性竞争在不断拉大，项目的利益相关方们之间的冲突也在不断递增，降低项目成本减轻企业压力等问题逐渐暴露出来，迫使政府和企事业单位，这些项目先行实施者们投入了大量资源去深入研究项目进度管理的基

本原理，开发项目进度管理的工具和使用项目进度管理的具体方法^[3]。

随着信息时代的来临和科技领域项目的研发，促使项目进度管理在理论和方法也在迅速发展和进步，也让越来越多的企业愿意将项目进度管理的理论与工具应用于产品研发、产品产业化升级及产品生产线更新等实现中。项目进度管理在企业中的运用取得显著成果的同时，无论是对产品研发项目管理还是对参与这些研发项目的人员都提出了更高的要求，尤其在资源稀缺的当下，如何在资源约束的条件下高质量的完成产品项目研发已成为科研院所^[20]，政府，企业所亟需面对和解决的问题。

(2) 公司背景

拥有“全球能效管理专家”称号的施耐德电气早在 1995 就进入中国，是一家老牌传统制造型企业并有着 180 年的悠久历史。目前公司在华员工已超 20000 人，2 个全球研发中心，作者所在的工业自动化研发部门就是其中之一坐落在上海，业务涉及五大市场，22 家工厂。

随着外资企业的全球化发展战略的实施，研发的核心技术还保留在本土，但很多产品的研发项目需要跨区域跨部门来完成，这就给项目的沟通和协调带来了极大的挑战。从产品研发项目本身来讲，时效性是很重要的基准。近些年工业自动化领域竞争空前激烈，竞争企业不乏欧美、日系、台系、国产等品牌，使得变频产品就有几十甚至上百家品牌不等^[4]。在这样一种行业环境下，施耐德的产品研发项目分为国产化和全球化的产品研发项目，国产化的项目比较简单，每个岗位所配人员不多，参与完成需求分析、设计、测试、小批量到量产等工作的人力资源较少。但对于跨区域跨部门的全球产品研发项目，由于组织结构复杂，通常每个岗位都会配有很多人员，整个项目的流程复杂需要大量人力资源来保证项目按计划完成。加之这些人员可能来自不同的地域、不同的技术部门，能力与工作习惯也都参差不齐，给项目进度管理增加了难度，产品研发项目也经常会出现延迟交付的情况。最终造成丢失市场先机的局面，迫使施耐德这样高端品牌的产品利润逐年调低。那么能否高效快速完成产品开发并快速响应市场变得尤为重要。

1.1.2 研究意义

工业自动化产品的研发项目中，大多使用关键路径法（CPM）和计划评审技术(PERT)来编制项目进度计划，这些传统方法仅考虑了任务逻辑约束关系，而忽略了资源约束的关系，并且在整个项目周期计划中都采用保守的时间估计，加入过多的安全时间，此外管理层也会保证项目的安全性再次加入安全时间，从而大大增加了整个项目周期。

本论文的研究意义在于研究现有的项目管理理论与方法后，将关键链管理技

术加入项目进度管理中，充分考虑时间和资源之间的相互约束，引入缓冲机制，合理优化项目进度计划，可以使公司的项目进度管理更规范化和制度化，使项目生命周期可计划、可监控、可追溯，在提高产品开发效率的同时，又提升了产品市场占有率，最后达成客户对产品满意。

本文中的产品研发项目是一个针对全球市场开发的产品，对于研究本公司及类似的跨国企业在优化项目进度管理上具有普遍性和代表性，可以对同行业公司产品研发项目进度管理提供一定的指导和帮助。

1.2 研究内容与方法

1.2.1 研究内容

本论文运用产品研发项目进度管理相关理论的方法和工具，结合施耐德电气产品研发项目进度管理实际情况，综合分析多方面因素造成的项目进度延迟问题，并对施耐德电气产品研发项目进度管理给出最终的优化方案，最终对优化方案进行保障和实施，最后给出结论和对行业未来的展望。本论文研究主要分为六章，各章简要内容如下：

第一部分：绪论。首先介绍本论文中研究的行业和企业所面临的背景，然后提出课题的研究意义，最后阐述研究内容和理论方法、工具及技术路线图等。

第二部分：理论综述。首先对项目管理理论中产品研发项目的特点以及项目管理理论中的项目进度管理的内容进行详细阐述，然后通过梳理出的项目进度管理的工具方法为论文后续的分析 and 优化工作奠定基础。

第三部分，施耐德电气产品研发项目现状及问题分析。主要通过分析施耐德电气产品研发项目流程以及产品项目进度管理现状，发现产品研发项目进度管理的问题并通过鱼骨图归纳出问题症结，然后运用 5 个 WHY 寻根溯源剖析影响进度的原因。

第四部分：施耐德电气产品研发项目进度管理优化措施。针对影响项目进度管理的原因，主要从以下方面给出优化方案措施：研发项目组织结构，项目进度计划，强化项目进度管理数字化在线监控。

第五部分：施耐德电气产品研发项目进度管理优化实施和保障。通过培训制度、绩效考核制度、人员、技术方面给出保障措施，并给出具体的实施步骤以此确保优化后的项目进度管理方案可以顺利实施。

第六部分：结论与展望。对本文的研究成果进行总结，同时对未来的研究方向开启展望。

1.2.2 研究方法

本论文是以施耐德电气公司的产品研发项目为研究对象，针对施耐德电气公司的在产品研发项目中出现的有关项目进度管理的问题，通过理论和实践相结合、因果分析、对比相结合的方法进行研究。

(1) 文献研究

本论文通过查阅大量书籍、优秀论文、国家级和外文期刊以及网站资料，一方面是借鉴现有成熟理论和方法，理论结合实际对施耐德电气产品研发项目进行系统的剖析和研究，对项目工作中发现的项目进度管理问题确定本文研究的问题和方向；另一方面，通过梳理出的项目进度管理相关理论，运用理论工具和方法，针对剖析出的原因进行优化，并给出具体的优化措施方案，为优化方案能够顺利实施和落地，又提供了保障措施和具体实施步骤。

(2) 访谈法

通过搜集和分析施耐德电气产品研发项目进度问题的相关历史数据和资料后，针对进度延误的项目所涉及到的职能经理和项目相关成员进行专访，整理访谈信息，初步归纳出产品研发项目进度延误中存在的有代表性的表象问题。

(3) 定性分析法

对访谈信息的表象问题运用鱼骨图清晰呈现并归纳问题的主要方向，然后对问题再次运用 5 个 WHY 工具寻根溯源，识别出问题的本质。本文研究框架图如下 1-1。

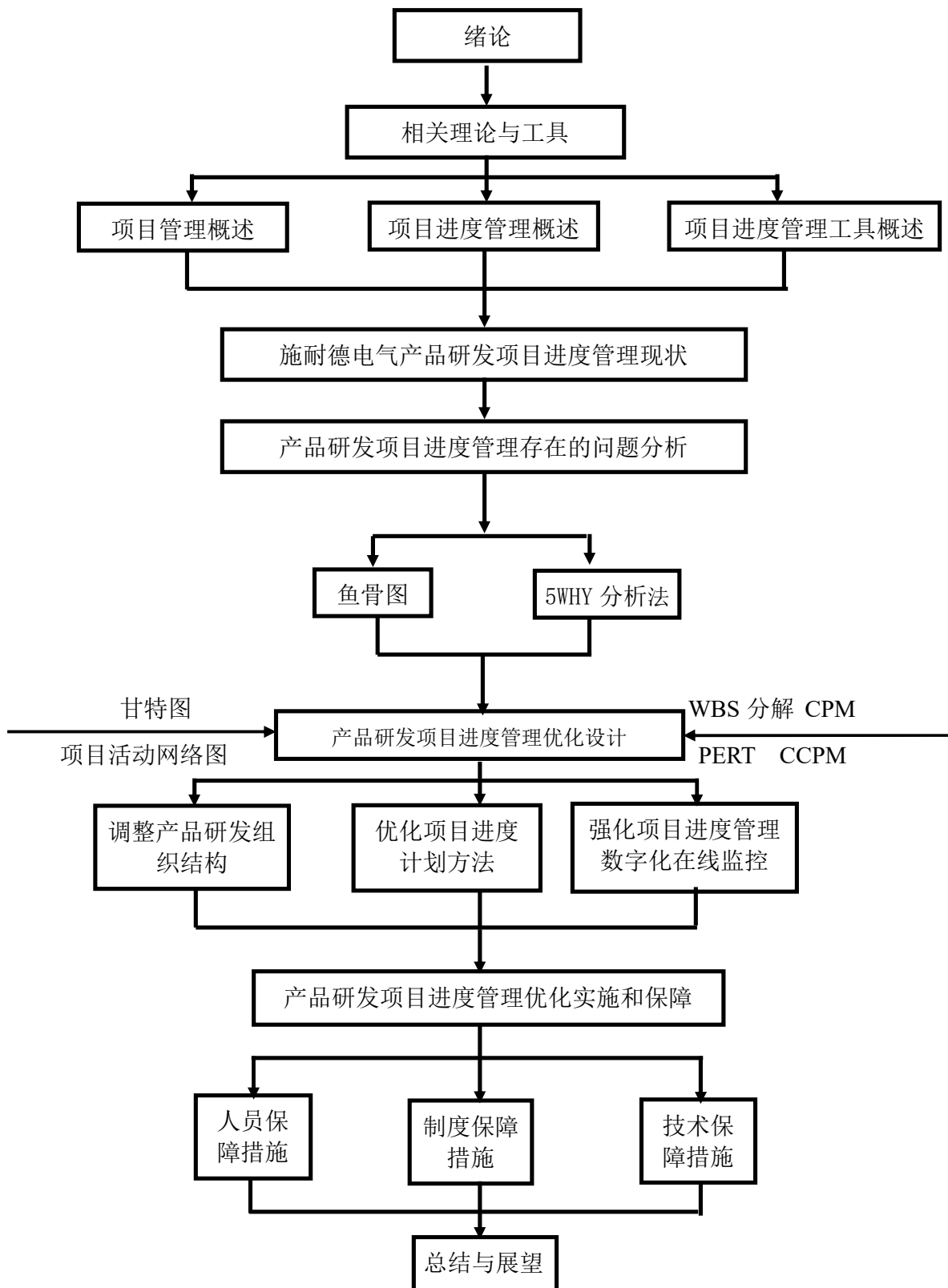


图 1-1 技术路线

第二章 相关理论与管理工具综述

2.1 项目管理

2.1.1 项目管理定义

现代项目管理是为满足或超过项目的要求和期许,通过运用各种技能、知识、工具和理论方法,所开展的合理应用与整合特定项目所需要的项目管理活动诸如项目启动、规划、执行、监控、和收尾等项目管理过程^[6]。

2.1.2 产品研发项目管理的特点

产品研发项目就是根据市场的需求及基础研究的成果,通过运用新器件、采用新设计和方法,研发设计满足市场与顾客需求的产品。产品研发项目管理也正是为了满足这一目标的实现所进行的一系列工作^[10]。

(1) 产品研发项目管理拥有独创性。产品研发项目是风险和创新并存的,并且创新性是他独有的特性。这就是产品研发项目管理不同于其他项目的地方。科技进步和长足发展给产品研发项目提供了源源不断地思想源泉。所以,我们在预研期的产品研发项目管理中,要时刻关心科学及时的动态和未来技术的走向,为产品研发项目的顺利提供有效保障。

(2) 产品研发项目管理对时间的约束很难控制。产品研发项目在对产品的理解和不断深入的过程中,需要进行反复确认,尤其是技术上的创新是产品研发项目成功的关键。因此,很难做到整个生命周期都采用瀑布式进行项目管理,对时间的约束也会受到开发的新技术或是问题而变得难以把控。对于产品研发项目,很难在项目计划阶段非常明确项目的生命周期,即使在项目计划阶段给出里程碑结点,在控制阶段也可能会延期。

(3) 产品研发项目技术代表的关键性。产品研发项目管理不同于其他项目管理之处,就在于产品研发项目的技术代表既是项目进度的管理者又是提供技术保障的实施者,所以技术和管理都要兼具这点是技术代表的重要性,只有这样才是合格的技术代表,在产品研发项目中才能确保项目顺利的完成且高效。

(4) 产品研发项目管理组织特点。产品研发项目对企业竞争力起到了关键作用,所以务必为产品研发项目团队创造有利于创新的氛围。这是产品研发项目管理中的一个很重要的特点。产品研发项目应该有灵活的组织架构,这种组织架构能够鼓励团队有敢于创新和不断学习的精神,并且还要提供有利于研发的必要

条件。由此看出在组织架构设计上，必须通过合理的架构和管理方案来达到创新的目的。

(5) 产品研发项目在储备技术和知识的管理过程。产品研发项目的过程是技术转换的过程。高质量的输入技术信息是强化产品研发项目的目的，并且技术和知识进行有价值的转换也是强化产品项目研发的必要条件。很多有着丰富技术沉淀的公司的经历多年的产品研发后，形成自己的储备知识库，便于日后产品的更新换代做准备，所以对于有效的知识储备的管理并提高技术知识利用率，可以确保产品研发项目更顺利。所以这是产品研发和其他项目相比的独特之处，也是相当重要的特点^[21]。

(6) 产品研发项目对知识产权的管理。产品研发项目就是企业运用新知识、新技术，新想法，启用新的生产方式和管理方式，生成新的技术、服务或者产品，并且为实现新的技术、服务或产品的市场价值提供技术平台。从产品研发的过程和结果看，对知识产权的保护非常重要。所以，知识产权管理就成为产品研发项目管理不同于其他项目管理的又一个重要特点。

2.2 项目进度管理

2.2.1 项目进度管理的概念

项目进度管理（Project Schedule Management）是依据时间或者进度作为基准，对项目的整个活动和获得的全部资源（包括人力和物力等），经过一系列的工具、理论、方法等科学手段来完成高效率的计划编排，活动的实施以及整个过程的监督控制，最后达成项目目标和可交付物的科学管理方法，具体包括以下六个过程^[23]：

- (1) 规划进度管理：为规划、编制、管理、执行和控制项目进度而制定的政策、程序和文档的过程。
- (2) 定义活动：鉴识活动和详实记录所有实施过程，确保项目交付成果和项目目标顺利完成。
- (3) 排列活动顺序：定义活动后，确定所有工作包相互之间的逻辑关系并排列组合的过程。
- (4) 估算活动持续时间：确定活动顺序后，根据资源来评估完成项目活动所需要的时间的过程。
- (5) 编制进度计划：分析活动的逻辑关系顺序、评估活动持续时间、可利用资源和制约进度的要素，编制项目进度表，并且完成项目实施和监

控的过程。

- (6) 监控进度：监视项目的状态以及根据管理进度基准不断更新项目进度的过程。

项目进度管理通俗讲就是确保项目任务能够高质量的完成，资源能够合理分配、项目活动高效进行。其中最行之有效的方法是对项目进度计划进行管理。通过完整且合理的项目进度计划，就可以使整个项目始终处于可控制状态。在项目进度管理中最主要的工作就是对项目进度计划的监控过程。制定项目进度计划包括：（1）给活动排序、估算持续时间；（2）收集资源和掌握进度的约束条件；（3）给进度建模。其主要过程为：

1. 创建 WBS 工作分解结构

WBS（Work Breakdown Structure）工作分解结构是对可交付物成果进行细分到不可以再分解的工作包的过程。同时，项目工作分解结构又是关于实施项目所要完成工作的层次性描述，是项目活动定义的最基本的依据。在工作分解结构的基础上可以检查出可能被遗漏的工作和任务。这样的一个分解活动具有以下特点：（1）可管理，简言之可以分配具体的职权和职责；（2）独立的，与其他活动有最小的逻辑搭接和依赖性关系；（3）可组合，利于形成整个工作包；（4）根据项目进展可监控，度量。当然这种分解方法是由项目的组织者-项目经理来完成，主要目的为了便于项目控制。

2. 项目活动排序

排列活动顺序是确定项目各活动之间的逻辑关系并以文档形式输出，也就是在工作分解结构之后，判断不同活动在项目执行过程中的逻辑关系和先后顺序，确定哪些可以串行，哪些可以并行，哪些活动在开始之前必须结束上个活动等关联关系。项目经理和其他项目管理人员可以按照活动之间的逻辑关系找出关键路径、然后在关键路径上找出影响持续时间的关键活动，从而确定最优的活动路径来确保项目可以高效高质量的按照项目计划进行。

3. 估算项目活动持续时间

项目活动的时间长度是编制项目进度计划过程的核心，是成本控制和进度控制的基础，同时也是成本控制和进度控制的依据和原则。其主要作用可以使项目经理和项目管理人员可以在编制项目计划及项目开始前对完成项目管理所需要的各方面因素更有确切的把握。时间估算主要方法和工具有专家判断、德尔菲法、类比估算、参数估算、仿真法、三点估算、自下而上估算等。

4. 制定项目进度计划

项目进度管理在项目管理中具有重要的意义。科学的项目进度管理的实施，首先可行性研究并制定项目进度计划，之后在项目运行过程中渐渐优化，最后项

目完工，收集资料，复盘总结。分析约束条件并创建模型，助力项目落地，并用图表数据表现出来。现代项目管理中常用的项目进度管理方法有很多，常用的有关键路径法（CPM）、计划评审技术（PERT）、甘特图等，下文将对关键路径法计划评审技术和甘特图方法进行简单概述。

关键路径法（CPM）也叫关键路径分析，是常用的数学分析工具。它具有网络逻辑性，可以借助项目网络图和各活动时间估算值，通过顺推法计算各活动的最早时间，通过逆推法计算出活动的最迟时间。可决定灵活性小的活动进度安排，再此基础上确定关键路径，并进行调整和优化，从而使项目活动完成时间最短，使项目进度计划最优。这种方法是项目经理和项目管理人员监控项目进度的重要工具。

甘特图（Gantt chart, GC）又称条形图、横道图。是亨利·劳伦斯·甘特（Gantt）在第一次世界大战期间提出的进度计划方法。是反映项目进度信息的标准图表格式。它以年、月、周、天、时间作为横轴，进度活动作为纵轴，活动持续时间表示为按照开始和结束日期定位的水平横道线，甘特图相对简单易懂、明了直观、易于绘画、给显示项目进度计划与实际进度信息提供了标准格式。但是甘特图的缺点是：不能反映各活动之间的关系或依赖关系，很难定量分析和计算，也没有指出影响项目进度的关键因素。因此甘特图适用于简单的小型项目，对复杂项目而言甘特图很难应付。现如今，项目经理多使用项目管理软件来创建更复杂的甘特图，这样更容易更新信息。对于大型项目，高级项目经理只在甘特图上查看里程碑事件。

计划评审技术（program evaluation and review technique, PERT）也是项目进度管理的一项网络分析技就是利用网络分析制定计划以及对计划予以评价的技术。它能协调整个计划的各道工序，合理安排人力、物力、时间、资金，加速计划的完成。在现代计划的编制和分析手段上，PERT 被广泛地使用，是现代项目管理的重要手段和方法。如果你能把这项技术正确应用在应用中，这将极大提高你的计划管理水平^[44]。

5. 项目进度管理控制

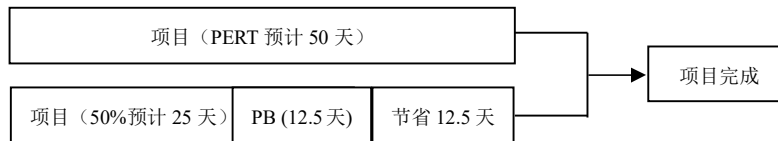
项目进度管理控制，其实就是根据项目计划和实际进展情况不断进行对比，分析和调整，确定进度偏差是否发生，并造成项目进度偏差的因素施加影响，当偏差发生时对实际偏差进行管理，从而确保项目目标的实现。具体的工具和方法有：进度跟踪系统、偏差分析技术、绩效分析方法、进度控制系统、项目管理软件。

2.2.2 关键链管理方法

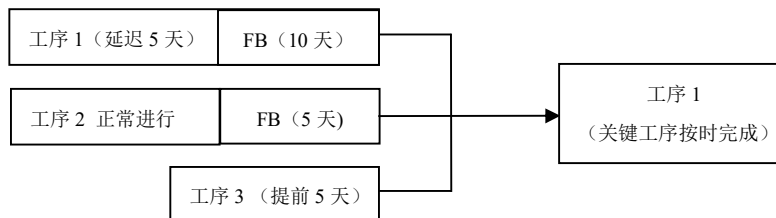
关键链项目管理（CCPM）是将约束理论 Theory of Constraint（TOC）和关键路径法（CPM），同时和项目管理相互关联^[18]，提出的一种新的项目进度管理方法。关键链管理技术主要基于两个方面的考虑：一方面是为了克服帕金森定律^[7]，如果工作提前开始，会加入大量的安全时间裕量，工作就会拖延到项目计划制定的最后一天去完成。这样就会造成效率低下，资源的浪费^[14]。另一方面在进行估算项目活动持续时间时，应设法剔除个人在估算活动时间时加入的裕量。经验表明，如果按照 100%的时间去估算，依照 50%的可能去判断，还会有 50%拖延的概率完成项目，这样会造成资源的浪费。如果压缩 50%的估算时间，作为统一的安全储备时间，在项目的最后统筹这部分公共资源，这样就可以缩短项目的工期。关键链管理技术正是充分考虑在一个项目中资源和时间相互制约，尤其是关键资源对时间的制约。

关键链是指充分考虑任务的逻辑性与资源约束等因素的前提下，工期最长的路径。因此在关键链进度规划方法中引入缓冲机制（PB）、汇入缓冲（FB）及资源缓冲（RB）来平衡资源约束的问题^[22]。

为了设置合理的项目进度计划，需要去掉人为加入的安全时间，会增加项目风险，项目也会容易延迟，而通过在关键链后设置项目缓冲（PB），将延迟控制在预期范围内，使整个项目的风险在 PB 得到控制和消除或减弱例如：



另外，通过在关键链活动后加入汇入缓冲区，一来可以避免非关键链上的活动的延误影响关键链活动，再者是可以保证关键链的活动一旦开展就可以持续进行，从而不会影响关键链的进行^[45]。



综上，可以看出关键链管理技术加入缓冲区的设置可以降低潜在影响因素对关键路径延误的风险。识别出关键链中产品研发项目周期中的制约因素和资源不

足，是制约项目完成的关键。在项目实施过程中，要定期监控缓冲区的消耗，通过缓冲区的消耗采取有效的措施，已达到调节和控制项目进度的目的，这是项目经理和项目管理人員需要密切关注的。

2.2.3 Microsoft Project 软件

Microsoft Project 是微软公司开发的一款专为企业内的项目管理人員提供的对项目资源、成本、整体进度规划的平衡、进度的控制和跟踪并按照企业要求完成完成可交付物的管理工具。

Microsoft Project 通过把一个项目分解为易于管理的步骤，能够应对复杂的计划进行可视化分析，让项目经理看到任务是如何相互联系，这对于项目经理制定全面的计划非常关键^[43]。同时也可以找到项目经理的瓶颈所在以及整个项目的未来开销。项目经理可以将几个项目合并，以便共享资源、团队工作量以及项目经理可以自动地交流项目状态。

Microsoft Project 的主要有关于项目进度管理的特性是提供多种进度计划管理的方法，如甘特图、日历图、活动网络图、可以利用这些方法，项目管理者可以方便地在分解的工作任务之间建立相关性，使用关键路径法计算任务和羡慕的开始、完成时间，自动生成关键路径，方便管理者有效的管理。

本文主要利用 Microsoft Project 软件主要是对项目进度计划优化。

第三章 施耐德电气产品研发项目进度管理现状及问题分析

本章最开始介绍施耐德电气工业自动化产品研发项目背景，接着对施耐德电气研发项目进度管理的现状进行深度剖析，通过访谈法找出项目进度延迟的表象问题，通过因果分析溯源出影响项目进度延误的根本原因：项目计划编制不合理问题、进度管理计划的监督不到位，研发的组织架构不够灵活。

3.1 施耐德电气公司伺服驱动器产品项目概述

3.1.1 伺服驱动器产品简介

伺服驱动器是电机驱动器的一种，用来控制电机的转速也是工业运动控制中常见的一种传动设备，它从属于伺服控制系统的并具备高精度的位置控制，目前被定义为传动行业的明星产品，他的用途十分广泛涉及协作机器人，精密机床，切纸机等领域。

3.1.2 伺服驱动器产品框架介绍

伺服驱动器是工业电子产品，产品框架一般是由控制板，功率板，电源板，通讯板内部通过排线或金属螺柱等机械件连接，外壳有前面盖，后面盖，风扇罩，最后组装成整机。

硬件部分：其中包括控制板、功率板、电源板、通讯板，每块 PCB 板经过焊接车间用电子元器件完成焊接后统称成品板，其中常用到的电子元器件像电阻、电解电容、共模电感、场效应管、电源芯片、控制芯片，以这些我们统称为硬件。

软件部分：用核心控制部件-数字信号处理器（DSP 芯片），用计算语言把复杂的控制算法写进芯片中，这个过程我们就叫做数字化，区别于硬件，它对产品的附加值非常高。

机械部分：产品中板和板之间连接（螺丝、支撑柱），塑料件（产品外壳），铜排，金属屏蔽板，铝型材，包装材料等。

3.1.3 伺服产品的项目特点概述

伺服驱动器项目的特点是以全新产品系列功率段的研发进度进行工作开展。项目先由市场部收集相关行业客户的需求，然后研发部门根据这些需求，提出设计解决方案，评审委员会对技术方案评审，最终选出最优方案立项^[9]。项目特点如下：

- (1) 研发周期较长，工作任务较多
- (2) 产品功率密度高，结构紧凑，元器件选型要考虑价格
- (3) 人力资源管理较多，沟通协调难度大

3.2 产品研发项目进度管理现状

3.2.1 施耐德电气公司的组织架构

公司采用矩阵型组织架构中的强矩阵，事业部有专门的项目部门，所有项目经理会被分配到各个项目中，项目结束后各个项目经理回归项目部。在每个项目中研发部会有项目技术负责人来主导电子工程师，机械工程师，软件工程师等技术工种来完成新产品的设计，并负责所有涉及人员的沟通和协调工作，并定期会和项目经理完成项目进度，项目风险，项目资源等检查工作。

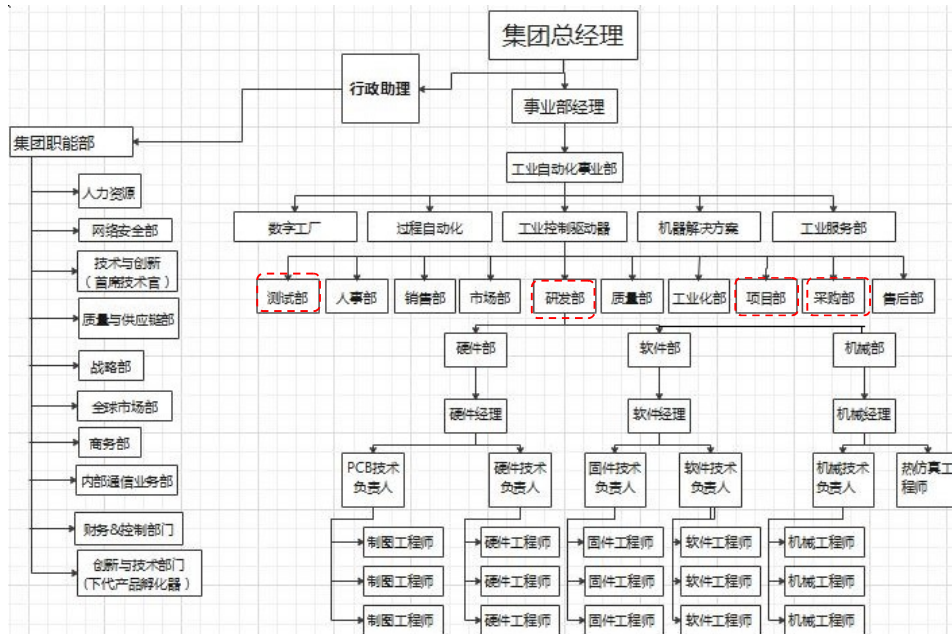


图 3-1 组织架构图

注：作者电脑绘制截屏；红色框的是研发项目中密切相关的部门

（一）项目经理

是由执行组织委派，领导团队实现项目目标的个人。以目标为导向，调动协调各项资源，把不同专业技术人员在合适的时间、地点、场合进行合适的整合，确保项目工作在项目预算范围内按时、优质地完成的领导/管理者。企业一般会选择有丰富项目开发管理经验的人来充当项目经理的角色。需要对整个项目的完成负责，合同签字。

主要职责：

- （1） 接受总经理做出的投资决策，并向其负责，完成产品开发任务；
- （2） 对项目的质量、进度、成本负责；
- （3） 建立、支持和领导项目团队；
- （4） 制定和管理跨部门的产品开发计划；
- （5） 推动跨部门的产品开发计划和执行；
- （6） 确保财务、研发、市场、销售、客户服务、采购和制造计划紧密相连；
- （7） 做出并满足项目交付、预算和时间进度方面的承诺；
- （8） 从总经理获得资源分配方面的承诺；
- （9） 与管理团队一起确保所需资源的及时到位；
- （10） 启动项目和保持项目正常沟通；
- （11） 当项目经理团队无法达成一致时做出决策；
- （12） 准备整个项目的工作分解结构图；
- （13） 召集项目会议沟通项目任务书和目标；
- （14） 指导项目核心组成员代表制定各自功能部门的策略和各自的工作分解结构；
- （15） 将项目职责分配到项目各代表；
- （16） 指导项目管理工程师建立项目环境、模板、文档等；
- （17） 领导团队成员一起对各个层次的项目工作分解结构进行优化；
- （18） 统筹各职能部门的方案，共同制定商业计划和提供项目建议；
- （19） 在概念、计划、可获得性决策检查点做指导；
- （20） 安排决策评审会议并将业务计划和建议提交给高层领导；
- （21） 编制和维护项目计划，确保按进度表、按照预算和产品规格书进行项目活动；
- （22） 保证完成项目并实现业务目标；
- （23） 管理并履行处于关键路径上的活动；

（二）硬件代表

硬件代表是整个项目硬件开发部分的负责人，是硬件方案的制定者和实施者，并负责协调与解决与硬件相关的问题。硬件代表向系统工程师报告。

主要职责：

- (1) 协助进行产品概念开发，提供备选技术方案；
- (2) 分解、分配硬件需求；
- (3) 负责硬件技术方案的设计；
- (4) 负责硬件概要设计；
- (5) 负责电气设计；
- (6) 对硬件部分进行详细设计；
- (7) 进行硬件/单元测试；
- (8) 进行系统联调测试；
- (9) 进行同行互审；
- (10) 负责 BOM 整合；
- (11) 配合软件代表、结构代表、工艺代表等开展硬件设计审核；
- (12) 整改功能验证实验中出现的的所有问题并整理成报告；
- (13) 配合测试代表进行系统功能验证测试；
- (14) 验证功能测试的任何问题并通报；
- (15) 整改所有任何软硬件问题并通报；
- (16) 协助项目经理制定各级计划；
- (17) 给其它部门提供有关硬件的技术支持；
- (18) 在系列产品或大的开发项目中，协助项目经理进行工作

(三) 软件代表

软件代表是整个项目软件开发部分的负责人，是软件方案的制定者和实施者，并负责协调与解决与软件相关的问题，同时给其它部门提供有关监控软件的技术支持。软件代表向系统工程师报告^[36]。

主要职责：

- (1) 协助进行产品概念开发，提供备选技术方案；
- (2) 组织制定软件功能规格书；
- (3) 分解、分配软件需求；
- (4) 进行软件概要设计；
- (5) 编写功能模块需求说明书；
- (6) 编写功能模块概要设计文档；
- (7) 编写功能模块详细设计文档；
- (8) 编写代码；

- (9) 进行软件/单元测试;
- (10) 进行同行互审(code review);
- (11) 进行子系统功能验证测试;
- (12) 整改子系统中功能性测试的问题并通报;
- (13) 进行系统软件测试;
- (14) 配合测试代表进行系统功能验证测试;
- (15) 整改所有系统功能性测试的问题并通报;
- (16) 整改软硬件问题并通报;
- (17) 协助项目经理制定各级计划;
- (18) 给其它部门提供有关软件的技术支持;
- (19) 在系列产品或大的开发项目中, 协助项目经理进行工作。

(四) 结构代表

结构代表是整个项目结构件开发部分(含造型、结构、包装、系统散热等)的负责人, 是结构设计方案的制定者和实施者, 并负责协调与解决与结构相关的问题。结构代表向系统工程师报告。

主要职责:

- (1) 协助进行产品概念开发, 提供备选技术方案;
- (2) 分解、分配结构需求;
- (3) 负责结构技术方案的设计(含造型、结构、包装、系统散热等);
- (4) 进行结构概要设计;
- (5) 进行结构详细设计;
- (6) 组织样机装配测试;
- (7) 进行同行互审;
- (8) 进行系统结构机械性能测试(含造型、结构、包装、系统散热等);
- (9) 监控模具制造商的工作, 并对模具进行审核、验收;
- (10) 整改所有系统中的机械结构性能测试的问题并通报;
- (11) 对样件和生产环节中的结构问题协同解决;
- (12) 协助项目经理制定各级计划;
- (13) 给其它部门提供有关结构的技术支持。

(五) 测试部经理

测试代表负责新产品的测试技术、测试系统开发并负责整个项目的测试工作, 检验产品是否满足行业标准、国家标准或国际标准, 同时协助 SE 负责产品的国际、国内认证工作。测试代表向系统工程师报告。

- (1) 提出可测试性需求，协助系统工程师形成产品包需求；
- (2) 协助进行产品概念开发，提供测试备选技术方案；
- (3) 负责测试方案的设计；
- (4) 开发“研发”用测试设备；
- (5) 协助研发调试；
- (6) 负责编写产品说明书（资料开发工程师完成）；
- (7) 负责开发样机、工程样机和小批量量产试制样机的测试和验证，并交付测试报告；
- (8) 负责产品认证测试；
- (9) 协助项目经理制定各级计划。

（六）ECAD PCB 工程师

PCB 工程师是整个项目 PCB 设计部分的负责人，是 PCB 布局方案的制定者和实施者，负责协调与解决与 PCB 设计相关的问题，同时给其它部门提供有关 PCB 设计的技术支持。

主要职责：

- (1) 负责 PCB 布局方案设计；
- (2) 负责 PCB 线路图设计；
- (3) 负责解决有关 PCB 设计部分的问题；
- (4) 协助 DNPPDT 制定各级计划；
- (5) 给其它部门提供有关 PCB 设计的技术支持。

（七）PROPDT 采购代表

采购代表主要负责组成产品中需要的所有采购流程，代表采购部门负责批准工作。制定计划时需要提供所有零部件、原材料、软件和服务等资源，这包括认证、谈判和管控全部供应商。

采购代表代表生产采购、研发采购、供应商管理、业务合作伙伴等。

主要职责：

- (1) 进行供应商分析，对于研发关键器件选择主要供应商和备选供应商；
- (2) 初始供应商规划（开发、考察、确定评估）；
- (3) 监控供应商持续的表现和管理供应商；
- (4) 进行新器件认证（商务部分）；
- (5) 负责模具制造商的选择和监控；
- (6) 与供应商进行合同谈判；
- (7) 制定长交期物料的供应计划；

- (8) 采购开发和生产需要的物料、设备等；
- (9) 向设计和开发提供对产品包交付的可采购性考虑的输入；
- (10) 供应商数据维护^[18]；
- (11) 制定业务计划中的采购部分；
- (12) 证明采购部分已准备好产品发布。

3.2.2 施耐德电气公司产品研发项目管理的各阶段工作及顺序

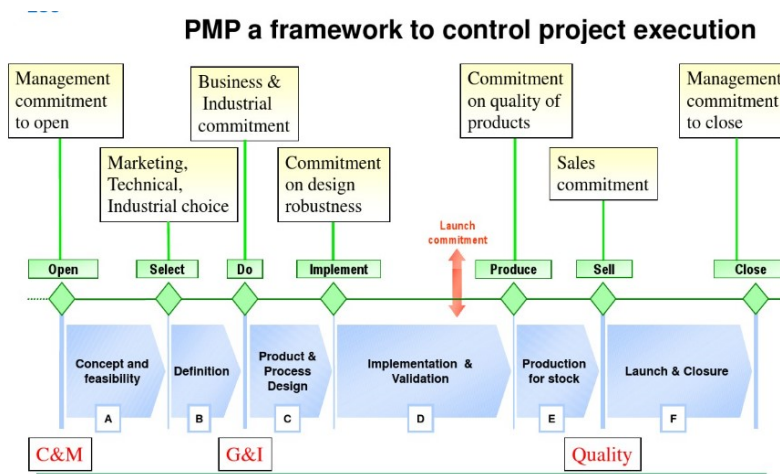


图 3-2 项目流程图

图片来源：公司内部

(一) 概念阶段

公司在项目概念阶段首先集成组合管理团队（IPMT）在该阶段要完成发布项目任务书（任命核心人员），同时市场代表提出市场需求信息发起概念决策评审→项目经理编写项目阶段详细计划，财务代表建立财务环境并持续收集财务数据→举行项目开工会→研发提出需求（含硬件、软件、结构、和标准等需求），器件工程师识别采购需求，测试代表提出测试需求，中试代表提出可制造需求，销售和服务代表提出可维护需求，制造代表协助提出可制造需求→研发需要完成产品概念开发及技术可行性分析→由技术评审团队完成技术评审→PDT 经理进行总体风险评估→编写业务计划书→组织制定项目总体计划→概念决策评审→如果评审未通过关闭项目数据库，项目收尾，总结失败原因，如果通过评审则输出概念决策评审报告，扩展组员^[29]。

(二) 计划阶段

项目经理制定计划阶段详细计划→举行计划阶段开工会→系统工程师完成组织需求分解与分配（需求跟踪矩阵），研发（硬件，软件，结构）完成需求分级与分配→系统工程师产品规格书制定，质量代表制定质量计划，市场代表制定市场计划，销售代表做销售承诺→研发完成总机技术方案设计，系统设计，产品结构树→知识产权风险评估→组织 TR2 技术评审→建立产品设计规格变更控制，研发设计概要→TR3 技术评审→优化总体风险评估→优化业务计划书→编写项目详细计划→编写研发合同→组织计划决策评审→变更项目数据库→总结经验教训→开发阶段

（三）开发阶段

举行开发阶段开工会→研发（硬件，软件，结构）进行详细设计完成电气图纸，硬件原理图结构图纸及 BOM，PCB 外形图，软件详细设计说明书，详细测试方案等→软件编码，结构打样，测试工具完备（含硬件/软件代码），PCB 制图→硬件单板自测，软件自测，软件和硬件联合调试→制作开发样机→整合产品 BOM，制作模具，设计包材，样机测试→TR4 技术评审→制作工程样机并解决工程样机问题，优化产品 BOM，测试工程样机→TR5 技术评审→变更项目数据库→总结经验教训→验证阶段

（四）验证阶段

组建产品指导委员会，启动试生产计划→组织试生产，研发并解决试生产中的问题→组织实施外部认证，协助客户试用→TR6 技术评审→市场代表制定价格策略，销售设置订单处理及履行环境，财务核算成本→可获得性决策评审→关闭项目数据库→总结经验教训→发布阶段

（五）发布状态

验证阶段项目经理，系统工程师，技术经理持续监控→研发项目结束

3.2.3 项目中各部门交付清单

在项目生命周期中，研发参与各阶段都需要交付清单作为评审决策的依据，具体评审的流程如下：

（1）预研阶段结束需要项目组成员决定是否立项，评审文件必须在项目节点前邮件发出并由项目经理召集评审人员参加评审，此时策划决策评审人员：总裁、技术总工、市场部总监、研发部总监、市场调研员、相关技术人员，评审通过后才可进入立项阶段。

（2）立项阶段总经理下发项目策划书，技术总工下发任务书和开发计划给项目经理，立项必须召集决策评审人员：总裁、总工、市场部总监、研发部总监、

市场调研员、相关技术人员；财务人员；采购；生产部经理，评审通过正式进入样机设计阶段。

（3）样机进入设计阶段需要组织 5 次技术评审：产品技术定义评审→系统设计技术评审→详细设计技术评审→测试结果评审→产品化设计决策评审→产品化技术评审→试制准备评审→工程样机测试结果评审→投产决策评审。决策评审人员：技术总工、研发部总监、市场调研员、相关技术人员；财务人员；采购；生产部经理，最后评审决策通过后同意转量产。

项目生命周期中各阶段的交付清单如下表 3-1：

表 3-1 项目周期各阶段交付物

| 项目 | 项目周期各阶段交付物 | | | | | | 负责人 |
|----|---------------|----|----|----|----|--|----------------------|
| | 预研 | 立项 | 样机 | 工程 | 批量 | | |
| 1 | 客户需求调查请求表 | √ | | | | | 产品经理 |
| 2 | 市场调查报告 | √ | | | | | 产品经理 |
| 3 | 技术需求 | √ | | | | | 产品经理 |
| 4 | 竞品分析报告 | √ | | | | | 产品经理 |
| 5 | 技术专利查新申请 | √ | | | | | 产品经理 |
| 6 | 技术专利查新报告 | √ | | | | | 项目经理 |
| 7 | 技术可行性分析报告 | √ | | | | | 研发经理 |
| 8 | 项目策划书 | | √ | | | | 产品经理 |
| 9 | 项目任务书 | | √ | | | | 产品经理 |
| 10 | 项目开发计划 | | √ | | | | 产品经理 |
| 11 | 产品技术需求规格书 | | | √ | √ | | 产品经理 测试代表 |
| 12 | 系统测试规范 | | | √ | √ | | |
| 13 | 系统设计方案 | | | √ | | | 系统工程 师 |
| 14 | 软（硬、结构）系统技术需求 | | | √ | | | 软件代表 |
| 15 | 软（硬、结构）设计方案 | | | √ | | | 硬件代表 结构代表 |
| 16 | 关键元器件清单 | | | √ | | | 器件工程 师 |
| 17 | 软（硬、结构）详细设计说明 | | | √ | √ | | 软件代表 |
| 18 | 详细设计文件 | | | √ | √ | | 硬件代表 结构代表 |
| 19 | 子系统 BOM | | | √ | √ | | 系统工程 师 |
| 20 | 系统 BOM | | | √ | √ | | 软件代表 硬件代表 结构代表 |
| 21 | 子系统测试报告 | | | √ | √ | | 系统工程 师 |
| 22 | 系统 Issue List | | | √ | √ | | 软件代表 硬件代表 结构代表 |
| 23 | 系统测试报告 | | | √ | √ | | 系统工程 师 |
| 24 | 样机客户测试报告 | | | √ | √ | | 产品经理 |
| 25 | 样品总结报告 | | | √ | √ | | 产品经理 |
| 26 | 子系统技术需求规格书 | | | | √ | | 软件代表 |
| 27 | 子系统设计方案 | | | | √ | | 硬件代表 结构代表 |

续表 3-1 项目周期各阶段交付物

| 项目 | 项目周期各阶段交付物 | | | | | |
|----|------------|----|----|----|----|------|
| | 预研 | 立项 | 样机 | 工程 | 批量 | 负责人 |
| 28 | 生产准备相关文件 | | | √ | | 项目经理 |
| 29 | 物料承认单 | | | | √ | 项目经理 |
| 30 | 设计文件清单 | | | | √ | 项目经理 |

3.2.4 时间估算

根据前面研发项目各个阶段阐述关于工作任务顺序排列，估算活动持续时间，研发项目编制进度计划，我们可以看到从概念阶段到验证阶段结束共计 312 个工作日约 15.6 个月，项目中开发阶段占据整个周期 70%，而研发在整个项目周期起到举足轻重的作用。工业产品在正式批量生产前，小批量生产通过的产品会交由部门客户适用，销售代表会及时反馈客户适用报告给研发作为批量前的整改参考，产品确保生产测试 OK，客户使用，客服反馈无问题，正式进入批量生产。所以，高及管理层和销售部门时刻关注转产的节点时间。产品能否顺利转产，也就是转产率项目完成好坏的重点考核指标。项目经理和项目管理人员在项目进度中应重点关注关键路径的活动以确保产品能按时交付转产。

| | 任务名称 | 工期 | 开始时间 | 完 |
|-----|----------------|---------|-------------|------|
| 1 | [-] 低压全新产品计划模板 | 312 工作日 | 2019年6月17日 | 2021 |
| 2 | [+] 概念阶段 | 23 工作日 | 2019年6月17日 | 2019 |
| 45 | [+] 计划阶段 | 65 工作日 | 2019年6月17日 | 2019 |
| 126 | [-] 开发阶段 | 215 工作日 | 2019年6月17日 | 2021 |
| 127 | [-] 开发样机 | 143 工作日 | 2019年6月17日 | 2019 |
| 128 | [+] 物料管理 | 15 工作日 | 2019年8月29日 | 2019 |
| 134 | [-] 结构设计 | 43 工作日 | 2019年9月2日 | 2019 |
| 135 | 结构详细设计 | 11 工作日 | 2019年9月2日 | 2019 |
| 136 | 结构详细设计需求跟踪 | 3 工作日 | 2019年9月17日 | 2019 |
| 137 | 结构评审 | 1 工作日 | 2019年9月20日 | 2019 |
| 138 | 评审后优化 | 1 工作日 | 2019年9月23日 | 2019 |
| 139 | 结构出图 | 5 工作日 | 2019年9月24日 | 2019 |
| 140 | 结构外协加工打样 | 22 工作日 | 2019年10月1日 | 2019 |
| 141 | [-] 硬件设计 | 46 工作日 | 2019年9月2日 | 2019 |
| 142 | [+] xxx板 | 46 工作日 | 2019年9月2日 | 2019 |
| 159 | [+] 软件设计 | 38 工作日 | 2019年9月2日 | 2019 |
| 171 | [+] 电气设计 | 7 工作日 | 2019年6月17日 | 2019 |
| 174 | [+] 开发样机装配 | 19 工作日 | 2019年10月21日 | 2019 |
| 182 | [+] 整机测试 | 25 工作日 | 2019年11月13日 | 2019 |

图 3-3 优化前的项目计划

注：作者电脑绘制截屏

3.3 产品研发项目进度管理的问题查找

3.3.1 基于项目进度趋势总表查找

各项目延期情况，标红色的是各项目目前延期的部分，延期原因主要是工程师及主管给出的原因，其中含有主观因素居多，从表中可以看出项目从初期就开始延误并且成递增趋势，项目的延误率高决定着后期发布阶段就要比竞争对手晚，势必会对市场的抢占受影响项目。项目进度统计表如下表 3-2，

表 3-2 项目进度统计表

| 序号 | 项目名称 | 最后一个完成的节点 | 项目周期(工作日) | 计划开发周期(工作日) | 偏差工作日 | 产品开发延时率 | 是否达成 |
|----|------------------|----------------|-----------|-------------|-------|---------|------|
| 1 | XXX 驱动器改进 | 小批试制 PCBA 焊接 | 271 | 195 | 29 | 10.70% | 未达成 |
| 2 | XXX 驱动器改进 | TR5 评审 | 259 | 143 | 32 | 12.36% | 未达成 |
| 3 | 全伺服 XXX 电控系统 | 工装测试自然冷却电箱 | 125 | 67 | 39 | 31.20% | 未达成 |
| 4 | XXX 电控系统项目 | 现场安装调试 | 113 | 21 | 85 | 75.22% | 未达成 |
| 5 | XXX 卷取送经项目 | 现场试用验证 | 125 | 88 | 18 | 14.40% | 未达成 |
| 6 | XXX 电机控制器开发项目 | TR6 评审 | -34 | -45 | 21 | -61.76% | 达成 |
| 7 | XXX B 体积 380V 项目 | 原理图优化评审后修改 | 251 | 73 | -5 | -1.99% | 达成 |
| 8 | XXX 控制系统 | 结构优化出图及 BOM 输出 | 265 | 91 | 7 | 2.64% | 达成 |
| 9 | XXX 系统全新产品 | TR4 评审 | 321 | 252 | 54 | 16.82% | 未达成 |
| 10 | XXX 解码器 | 审核后修改及 BOM 制作 | 80 | 34 | 27 | 33.75% | 未达成 |

续表 3-2 项目进度统计表

| 序号 | 项目名称 | 最后一个完成的节点 | 项目周期(工作日) | 计划开发周期(工作日) | 偏差工作日 | 产品开发延时率 | 是否达成 |
|----|-----------------------|---------------|-----------|-------------|-------|---------|------|
| 11 | 通用 XXX 主控平台 TDT | FPGA 并口功能验证、 | 69 | 58 | 0 | 0.00% | 达成 |
| 12 | SV-XXX 通用伺服驱动器 | FPGA、DSP 接口处理 | 126 | 18 | 2 | 1.59% | 达成 |
| 汇总 | | | | | | 10.64% | 未达成 |

通过向男工程师们（硬件负责人 30 岁，男，工龄 5 年/机械负责人 32 岁，男，工龄 7 年/软件负责人 30 岁，男，工龄 5 年）和各个项目的技术经理（硬件经理 45 岁，男，工龄 20 年/机械经理 15 岁，男，工龄 15 年软件经理 42 岁，男，工龄 17 年）访谈（问题是：你认为影响项目进度的因素有哪些？）搜集到以下共性的信息导致项目延期率变高：

立项前的项目拖沓：

新产品开发从 2019 年 1 月份开始到 2 月末市场部提出需求后，研发部门开始做预研工作，项目正式立项前，根据研发提供的产品架构方案，交由高层评审委员开会决定是否通过，然后才进入正式立项阶段，开始研发设计工作，但施耐德电气在立项前的评审总是需要经过很多轮，原因是由于这个项目评审是需要跨区域的会议，每次召集会议到场的评审委员在中国区域的领导都会按时参加，而法国那边的人员有时到会的人员经常会有增加或是偶尔缺席的情况发生，导致每次评审时专家的评审意见会经常重复性提出，有些问题是项目经理和产品经理和研发项目负责人要重复性回答，有些意见是新提出的问题，立项不通过打回，研发部和市场部需要重新检查这些问题后再召集评审，历次的评审意见都是发散的，这样往复经过了大半年才可以正式立项，而新产品的上市时间是确定的，这样定制项目进度计划表时就会想办法压缩时间来节点时间，这样往往就会造成最后的节点时间就会延迟。

研发阶段的项目延迟：

首先，项目中有丰富工作经验的工程师太少，项目开展缓慢，加之在项目进展中间，人员流失严重，新人一时间又无法快速开展新项目，项目在时间上会有延迟。另外电子工程师在雏形机设计阶段调试和验证工作需要和测试工程师配合，但由于之前在编制项目计划时，这个预估的工时是安排测试工程师去测试，

但由于雏形机在测试中会出现一些不确定因素，往往测试中出现了问题电子工程师就会去排查问题，这时测试人员的工时就白白的浪费掉，而电子工程师是在用额外的工时去解决问题，等解决好问题之后，需要重新安排验证测试给测试工程师，就需要增加测试的人力资源，但由于测试部门会提前排好测试工程师在每个项目中的工时，一般就没有人力资源来调度，此时出现这种情况又是由电子工程师来做测试的验证工作，这样无形中电子工程师的资源被过度使用，但在项目计划中往往都被忽略，由此就会造成项目进度的延迟的概率非常高。

其次，施耐德电气的测试设备的保管是独立部门保管，测试设备是归各研发产品线共用，首先设备是需要每年的预算或者几年的预算来进行采购，现阶段由于施耐德电气的研发项目较多，物资采购流程繁琐，采购周期较长，再加之各产品线研发项目进度计划不去评估物品资源是否冲突，所以在项目后期经常会造成项目进度延期。

再次，产品设计中输出的关键元器件清单是一些关键的物料并且物料交期在1个月到三个月之间，这部分元器件需要提前交给采购工程师提前下单给供应商，电子工程师也可以申请免费的样品给雏形机制作的备用，机械工程师也同样需要将金属材料以及外壳 3D 打印设计图纸提前发给供应商报价，制作，这些在项目计划时都是专家根据以往类似项目经验根据最晚交期的物料给出的预估时间，但实际情况也会受环境影响譬如新冠疫情，美国对中国的限售，新能源行业井喷式增长使供应商产能不足，造成物料交期变长。

最后，项目正式启动后，按照进度计划表进行项目开发，在完成产品的选型设计，成本工程师会核算新产品的成本，成本核算后需要专家进行评审，如果价格成本不符合要求面临专家的质疑而不通过，其中物料的成本也是受很多因素影响如上提到，由此会造成进度计划的顺延。另外，由于 PCBA 加工外包给外部公司完成，并且施耐德系统指定外包公司是固定的几家，质量参差不齐，商品部门是受法国总部来统一管理，而中国研发部门只能从系统选择，没有自主选择权，而负责工业化的工程师也多次提过工艺加工的问题，在外包公司由于设备陈旧的问题或者成熟人员流动大的问题，会经常性的出现而难以管控，致使研发设计中的问题很多难以发现，等到中试环节到量产阶段发现时受到专家的质疑而返工，提出变更重新整改，这样也会使研发进度延迟。

综上，我们看到影响项目进度延误的大部门问题都出现在项目开发阶段到量产前的项目工作中，所以后面我们研究和分析的对象主要针对这两个阶段。

3.3.2 运用鱼骨图查找

根据上一节项目组成员访谈后得到的表象信息，利用鱼骨图方法归纳分类，并找出最可能造成项目延误的几个问题症结。

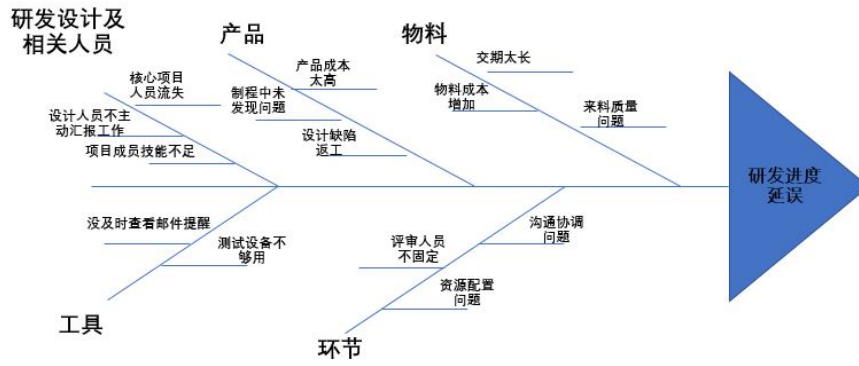


图 3-4 鱼骨图分析

注：作者电脑绘制截屏

通过鱼骨图的分析我们总结可能导致进度管理出现延迟的症结如下：

- (1) 人员出现问题：供应商人力资源不足成熟工不足，研发项目人员流失，项目成员技能不足；
- (2) 产品出现问题：制程中不能发现问题，产品成本太高，设计缺陷；
- (3) 物料出现问题：物料交期太长，物料成本增加，来料质量问题；
- (4) 工具出现问题：没及时查看提醒邮件，测试设备不够用。
- (5) 环节出现问题：评审人员不固定，沟通协调问题，资源配置问题；

3.4 产品研发项目进度管理问题成因的分析

通过上一节用鱼骨图找出问题症结，但这些仅仅是管理实际中的表象性问题，并非根源性问题。本节将挑出访谈中高频出现的几个问题点进一步运用 5 “WHY” 分析工具分析^[35]，对问题症结进行管理上的寻根溯源。

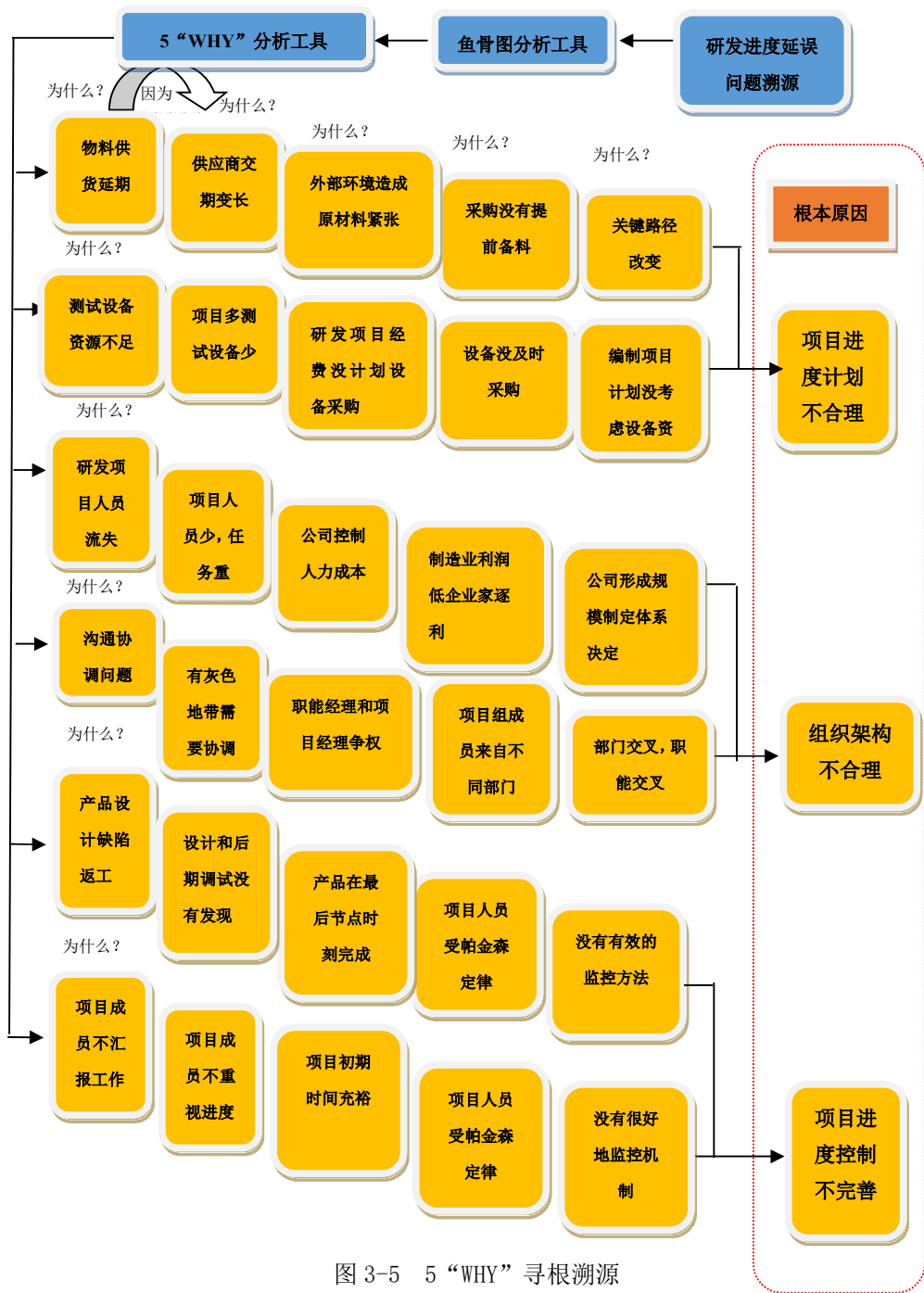


图 3-5 5 “WHY” 寻根溯源

通过 5 个 WHY 工具层层发问，找出问题的根本原因，下面针对这些问题进行详细的阐述和分析。

3.4.1 物料供货延期的分析

对时间的估算不准确。目前工作量的评估是产品线技术经理和项目经理通过专家判断的方法，参考历史相近的产品开发经验估算出的活动时间，没有运用科学的方法和工具到项目进度计划编制中。上文已提到物料的交期受外部供应商的影响，供应商也会受他自己供应商的原材料的影响，另外如果外部市场环境偏好，供应商会把生产线专供更大的客户，造成市场供不应求，供应商被迫交期变长，同时价格也会市场影响抬高，原本物料的采购不会出现关键路径下^[31]。但由于项目计划编制时候没有留足时间裕量，忽略了非关键路径上的延迟带来关键路径的变化，最后的结果就是项目延期。

3.4.2 测试设备不足影响项目进度的分析

关键路径的活动受到资源的约束。测试部门作为公共部门，事业部的各产品线的项目会同时开展，每年研发的项目经费和测试部分采购设备是独立核算的，所以设备的资源和项目的进度就会有这样的约束关系，并且施耐德目前的项目计划编制时是不考虑测试设备资源带来的约束的，所以在时间的估算上是不保留裕量的，所以一旦各项目同时进入设计阶段，设计人员不是去借测试设备而变成各项目间的沟通协调，一时间形成“粥多僧少”的局面，这种资源的冲突就会影响到项目的进度受到延误。

3.4.3 项目人员流失影响项目延期的分析

公司架构垂直度高，员工晋升机会小，绩效激励机制不健全。工资是对核心人员能力最直接的体现，也是造成人员流失的重要因素，随着工作年限的增长，工程师在公司能力的提升、工作业绩的不断增长，其对个人价值的货币表现——工资的期望也相应提高。而工资水平的高低不再是单方向的，一方面决定衡量工资水平的高低不仅仅是工期体系来评价和制定，另外由于科技信息网络的飞速发展以及行业内流动性高，工资水平的相对性概念也出现。企业在给员工制定薪酬高低不参考行业标准，这样就容易挫伤核心员工积极性，导致其对企业不满，选择另谋高就。

3.4.4 项目人员技能不够的分析

技能培训不足，自身提高技术意识不强。项目成员在项目初期组建前可能没接触过项目或应届生工作经验不足，也可能是前期做过相关产品，在项目中还处在在边工作边学习的阶段，往往对于产品的经验和知识储备不是很充分，尤其是在遇到技术问题时在时间上就不好把控甚至会失控状态，所以项目初期在排程上就需要考虑这些因素使项目进度要留有足够的缓冲时间，所以项目进度计划和时

间节点就会出现延期的问题。

3.4.5 对沟通协调问题的分析

施耐德虽采用的是矩阵型中的强矩阵，每个研发项目由项目部门派一名项目经理负责项目的整个生命周期，研发的产品线技术经理来担任研发的项目经理，对于企业来说这种架构是有优缺点的，具体见下表 3-3：

表 3-3 矩阵型组织的优点和缺点

| 类别 | 优点 | 缺点 | 适用范围 |
|------|-------------------------------|--|---------------------------------|
| 项目经理 | 项目经理对资源的把控力大 | 1 对项目成员的权力不够大； 2 与部门职能经理会有职权竞争关系； | 1 中规模项目，跨专业的项目 2 需要多个职能部门的资源 |
| 团队成员 | 成员有“家”可归 | 有一个以上老板 | 3 技术相对复杂的项目 |
| 沟通协调 | 1. 有利于跨部门的协调； 2 横向沟通变得更容易； | 1. 结构复杂，沟通复杂， 2. 管理难度大； 3. 需要大量的规章制度和程序； | |
| 资源管理 | 1. 资源使用效率高； 2. 能取得职能部门的支持； | 1. 职能领导会和项目经理争抢资源； 2 跨职能部门协调时会有冲突； | |

另外，对于整个集团来说有些职能部分被作为公共部门而不划为研发部，例如，在新产品研发过程中，新产品验证工作是由测试部的测试工程师来完成的，但是测试部门是属于事业部的公共部门，不仅负责 Drive 下伺服产品线的测试工作，还有变频器产品线；而且还有人机界面和 PLC 的测试工作，所以产品线的技术经理在工作安排上会有工作冲突，资源不够，不服从项目安排等问题出现而影响项目整体进度的问题出现，其次采购归属于集团部门下，有些新物料必须从集团承认的供应商去选型新物料，而伺服产品线是最近两年在公司新成立的产品线，产品和集团的主营业务差异性很大，且伺服驱动器在中国本土市场已经进入

红海，很多物料在系统的供应商里的价格已完全没有优势，中国研发如果要替换物料或加入新供应商，需要说服法国的采购部门，从流程上复杂和沟通成本也是很高的。

3.4.6 项目进度状态不能及时跟进的分析

（一） 项目管理软件平台应用不充分

目前项目管理跟进主要还是通过每周的例会，技术经理在每周工作会上询问研发项目组成员工作进度并更新 PPT 然后和项目经理和质量，销售等其他部门开产品线的项目会，研发人员的工作进度没有软件来跟踪和提醒，工程师手上不仅有项目工作还有部门分配的工作，工程师尤其是经验不足的工程师往往分不清重要和紧急的关系，忽视项目中关键路径上的工作，此时又没有软件及时提醒，只能等到项目周会才会发现，但此时可能已经导致项目延期。

（二） 项目人员对进度的影响

（1） 项目成员不主动汇报工作进度

工程师往往会受学生综合症，帕金森定律等因素而导致项目延期。帕金森定律，是只要还有时间，工作就会一直拖到用完所有时间为止。言简意赅的说，不管是学习还是工作中都有临时抱佛脚的心态^[8]。因此项目经理或者项管理人员在编制项目进度计划时就会按照 100%完成项目的概率去编排，无形之中就给进度计划中增加了大量时间储备，而即使这样，项目团队人员还是会在项目时间进行一半的时候仅仅完成 10%的工作，直到项目节点前才会赶工完成剩余的大部分工作。这样完成的项目会有很多前期未识别的风险出现，不但后期造成项目延迟，项目完成的质量也不高。本项目具体实施过程中，项目成员学生综合症的表现如下现象：

因为整个项目估算的时间较长，开始的时候由于没有节点压力，组员并没有针对项目进行工作，而是完成职能部门安排的工作。例如工作汇报、自我能力提升、消极怠工等。当项目经理发现其时间节点即将到期时，通过群发邮件或打电话的方式找到了对应的活动负责人，提醒其节点，组员才放下自己手上的工作回到项目工作中去。

项目成员提前完成的积极性不高，一方面是由于成员所在职能部门的工作没有完成或者节点已经很近了，另一方面项目中绩效比例的较低，并没有能够起到激励的效果，公司的年终绩效考核，50%比重是由事业部的业绩决定，剩下 50%由部门经理根据项目完成率和部门工作完成率决定，所以项目所占的比重就更小，项目组成员没有完成项目组的工作，整个项目组成员情绪非常低落，导致该项目中关键节点非常紧张。

（2） 研发人员特有的心态对项目进度的影响

研发人员在项目进度影响中常见心态影响有两种：一是追求完美技术；二是爱面子，自尊心强。

追求完美技术在研发项目中会经常看到，尤其是在研发项目在设计阶段接近尾声的时候，此时研发设计工程师的脑海中突然迸发出新的想法，新思路，可以进一步让产品得到优化，于是会自行对新产品的设计进行修改实验，推翻或者修改原有的技术方案。后果就是脱离了项目组原先的设计方案和项目计划，即使产品短期看来是完美的，但也不能称之为做好了项目，甚者可能会把风险和隐患带进来，更甚者会导致最后项目进度延迟或者失败。这样做法在研发项目中是不提倡和禁止的。爱面子，自尊心强的表现是：有些项目组研发人员会认为自己的技术高超，请教别人是一件丢脸的事情，于是遇到问题，就闷头自己去解决，忽略时间对于研发项目的重要性，其实在遇到问题时，寻求项目组成员的想法是非常有必要的，思想的碰撞会让思路更开阔，工作更有效率，项目也会开展更顺利。

第四章 施耐德电气产品研发项目进度管理优化措施

4.1 产品研发项目进度管理优化目标

4.1.1 项目进度管理优化的目标

从上一章的原因分析可以看到伺服驱动器的研发，从概念设计到雏形机制作，中间需要多个部门多工种的协作完成，而且每个阶段又不是相互独立，有时活动需要并行有时必须是串行。因此项目进度管理优化的目标应遵循以下几点：

- (1) 优化研发项目组织架构，提高研发项目的沟通效率和响应速度；
- (2) 优化研发项目中重复或不必要的交付物，提高工作效率；
- (3) 细化 WBS 活动，优化活动顺序，压缩项目关键路径；
- (4) 优化项目计划，从而缩短研发项目周期^[11]；
- (5) 优化项目关键路径避免资源不合理造成的研发项目延期；
- (6) 利用新的项目管理软件平台来监控研发项目进度；

4.1.2 项目进度管理优化的原则

根据 PMP 项目管理理论为原则对施耐德电气伺服驱动器产品研发项目进度管理进行优化，研发项目以市场部发布时间里程碑^[15]作为进度导向，尽量不改变发布上市时间节点为原则，需要考虑到内部资源的实际使用情况，使项目资源得到最大利用，最终使项目的开发进度合理^[12]。

该项目优化方案的设计原则为：在现有的项目时间，成本及项目资源的情况下，缩短研发周期，并且解决项目资源冲突的同时，使得项目可以按照时间节点顺利推行下去。优化方案主要依靠关键链技术^[19]，在项目原有的开发进度上，进行相应的资源整合、设置合理的项目缓冲、减少多余的安全时间、去除重复的考虑因素，从而在开发过程中，发挥人的主观能动性，最终使得项目的开发进度时间进行相应的缩减，并在项目的非关键领域设置相应的资源缓冲区域，从而缩减项目的整体进度。

4.2 优化项目进度计划方法

4.2.1 WBS 活动任务顺序优化并重新分解

根据第三章的进度计划表对开发阶段活动顺序进行优化，具体优化如下：

(1) 结构件由外协部门加工，受供应商的影响较大应该细化任务为三部分：输出结构 BOM（初稿）及存档此部分由研发工程师负责，结构件/标准件交期的跟催及回司，此部分由项目经理和外协人员负责，结构件/标准件发料，此部分由项目经理负责，这样分工责任会更加明确。

| | | | | |
|-----|------------|--------|------------|-------|
| 134 | □ 结构设计 | 43 工作日 | 2019年9月2日 | 2019年 |
| 135 | 结构详细设计 | 11 工作日 | 2019年9月2日 | 201 |
| 136 | 结构详细设计需求跟踪 | 3 工作日 | 2019年9月17日 | 201 |
| 137 | 结构评审 | 1 工作日 | 2019年9月20日 | 201 |
| 138 | 评审后优化 | 1 工作日 | 2019年9月23日 | 201 |
| 139 | 结构出图 | 5 工作日 | 2019年9月24日 | 201 |

图 4-2 优化前

注：作者电脑绘制后截图

| | | | | |
|-----|-----------------------|--------|------------|----|
| 140 | □ 结构外协加工打样 | 22 工作日 | 2019年10月1日 | 20 |
| 141 | DA100--输出结构BOM（初稿）及存档 | 1 工作日 | 2019年10月1日 | |
| 142 | DA100--结构件/标准件交期跟催及回 | 20 工作日 | 2019年10月2日 | 2 |

图 4-3 优化后

注：作者电脑绘制后截图

(2) 在硬件设计中，单板 BOM 制作应该设前置任务为 150 项原理图评审后修改，不应该在串行全部设计完成后再生成采用和 PCB 设计时并行开始，这样可以缩减时间。

| | | | | |
|-----|------------|--------|-------------|------|
| 141 | □ 硬件设计 | 46 工作日 | 2019年9月2日 | 2019 |
| 142 | □ XXX板 | 46 工作日 | 2019年9月2日 | 2019 |
| 143 | 原理图设计 | 14 工作日 | 2019年9月2日 | 20 |
| 144 | 原理图评审 | 1 工作日 | 2019年9月20日 | 20 |
| 145 | 硬件详细设计需求跟踪 | 1 工作日 | 2019年9月20日 | 20 |
| 146 | 器件检视 | 2 工作日 | 2019年9月20日 | 20 |
| 147 | 原理图评审后修改 | 2 工作日 | 2019年9月23日 | 20 |
| 148 | PCB布局 | 2 工作日 | 2019年9月25日 | 20 |
| 149 | PCB设计 | 4 工作日 | 2019年9月27日 | 20 |
| 150 | PCB评审 | 1 工作日 | 2019年10月3日 | 20 |
| 151 | PCB评审后更改 | 2 工作日 | 2019年10月4日 | 20 |
| 152 | PCB外协加工 | 7 工作日 | 2019年10月8日 | 201 |
| 153 | 单板BOM制作 | 2 工作日 | 2019年10月17日 | 201 |
| 154 | 单板领料 | 1 工作日 | 2019年10月8日 | 20 |
| 155 | 单板出图 | 5 工作日 | 2019年10月12日 | 201 |

图 4-4 优化前

注：作者电脑绘制后截图

| | | | | |
|-----|------------|--------|------------|------|
| 144 | □ 硬件设计 | 46 工作日 | 2019年9月2日 | 2019 |
| 145 | □ xxx板 | 46 工作日 | 2019年9月2日 | 2019 |
| 146 | 原理图设计 | 14 工作日 | 2019年9月2日 | 20 |
| 147 | 原理图评审 | 1 工作日 | 2019年9月20日 | 20 |
| 148 | 硬件详细设计需求跟踪 | 1 工作日 | 2019年9月20日 | 20 |
| 149 | 器件检视 | 2 工作日 | 2019年9月20日 | 20 |
| 150 | 原理图评审后修改 | 2 工作日 | 2019年9月23日 | 20 |
| 151 | PCB布局 | 2 工作日 | 2019年9月25日 | 20 |
| 152 | PCB设计 | 4 工作日 | 2019年9月27日 | 20 |
| 153 | PCB评审 | 1 工作日 | 2019年10月3日 | 20 |
| 154 | PCB评审后更改 | 2 工作日 | 2019年10月4日 | 20 |
| 155 | PCB外协加工 | 7 工作日 | 2019年10月8日 | 201 |
| 156 | 单板BOM制作 | 2 工作日 | 2019年9月25日 | 20 |
| 157 | 单板领料 | 1 工作日 | 2019年10月8日 | 20 |

图 4-5 优化后

注：作者电脑绘制后截图

(3) 整机测试中，硬件需求跟踪测试，软件需求跟踪测试，结构需求跟踪测试，测试报告编写一定要在测试问题解决开始时就开始（S-S），这样调整成并行进行可以缩减时间。

| | | | | |
|-----|--------------|--------|-------------|------|
| 185 | □ 整机测试 | 25 工作日 | 2019年11月13日 | 2019 |
| 186 | 软件测试 | 10 工作日 | 2019年11月15日 | 2019 |
| 187 | 温升测试 | 2 工作日 | 2019年11月15日 | 2019 |
| 188 | 开发样机安规测试 | 7 工作日 | 2019年11月19日 | 2019 |
| 189 | 开发样机EMC测试 | 7 工作日 | 2019年11月13日 | 2019 |
| 190 | 开发样机整机电性能测试 | 8 工作日 | 2019年11月19日 | 2019 |
| 191 | 开发样机环境测试 | 7 工作日 | 2019年11月22日 | 201 |
| 192 | 开发样机机械振动 | 2 工作日 | 2019年12月3日 | 201 |
| 193 | 测试问题解决 | 5 工作日 | 2019年12月5日 | 2019 |
| 194 | 开发样机硬件需求跟踪测试 | 1 工作日 | 2019年12月12日 | 2019 |
| 195 | 开发样机软件需求跟踪测试 | 1 工作日 | 2019年12月12日 | 2019 |
| 196 | 开发样机结构需求跟踪测试 | 1 工作日 | 2019年12月12日 | 2019 |

图 4-6 优化前

注：作者电脑绘制后截图

| | | | | |
|-----|--------------|--------|-------------|------|
| 185 | □ 整机测试 | 23 工作日 | 2019年11月13日 | 2019 |
| 186 | 软件测试 | 10 工作日 | 2019年11月15日 | 201 |
| 187 | 温升测试 | 2 工作日 | 2019年11月15日 | 201 |
| 188 | 开发样机安规测试 | 7 工作日 | 2019年11月19日 | 201 |
| 189 | 开发样机EMC测试 | 7 工作日 | 2019年11月13日 | 201 |
| 190 | 开发样机整机电性能测试 | 8 工作日 | 2019年11月19日 | 201 |
| 191 | 开发样机环境测试 | 7 工作日 | 2019年11月22日 | 20 |
| 192 | 开发样机机械振动 | 2 工作日 | 2019年12月3日 | 20 |
| 193 | 测试问题解决 | 5 工作日 | 2019年12月5日 | 201 |
| 194 | 开发样机硬件需求跟踪测试 | 1 工作日 | 2019年12月5日 | 20 |
| 195 | 开发样机软件需求跟踪测试 | 1 工作日 | 2019年12月5日 | 20 |
| 196 | 开发样机结构需求跟踪测试 | 1 工作日 | 2019年12月5日 | 20 |

图 4-7 优化后

注：作者电脑绘制后截图

(4) 工艺设计中，单板 PCBA 工艺分析应该在原理图评审时工艺工程师参加，并在评审后给出分析报告，整机工艺中结构装配工艺应该在结构设计出图后应该出建议，整机调测工艺应该在整机测试问题解决开始时就开始（S-S）进行。

| | | | | | |
|-----|---------------|---------|-------------|-------------|-----|
| 200 | + TR4, 开发样机评审 | 15 工作日 | 2019年12月12日 | 2020年1月1日 | |
| 207 | □ 工艺设计 | 130 工作日 | 2019年6月17日 | 2019年12月13日 | |
| 208 | □ 单板工艺 | 4 工作日 | 2019年6月17日 | 2019年6月20日 | |
| 209 | XXXX板PCBA工艺分析 | 4 工作日 | 2019年6月17日 | 2019年6月20日 | |
| 210 | □ 整机工艺 | 19 工作日 | 2019年11月19日 | 2019年12月13日 | |
| 211 | 结构装配工艺(初稿) | 2 工作日 | 2019年11月19日 | 2019年11月20日 | 187 |
| 212 | 装配工艺指导书(初稿) | 2 工作日 | 2019年11月21日 | 2019年11月22日 | 211 |

图 4-8 优化前

注：作者电脑绘制后截图

| | | | | |
|-----|---------------|--------|------------|------|
| 207 | □ 工艺设计 | 55 工作日 | 2019年9月23日 | 2019 |
| 208 | □ 单板工艺 | 4 工作日 | 2019年9月23日 | 2019 |
| 209 | XXXX板PCBA工艺分析 | 4 工作日 | 2019年9月23日 | 201 |
| 210 | □ 整机工艺 | 49 工作日 | 2019年10月1日 | 2019 |
| 211 | 结构装配工艺(初稿) | 2 工作日 | 2019年10月1日 | 201 |
| 212 | 装配工艺指导书(初稿) | 2 工作日 | 2019年10月3日 | 201 |

图 4-9 优化后

注：作者电脑绘制后截图

(5) 整机工艺优化项目子任务合并重新估计活动时间，优化调整前置任务。

| | | | | |
|-----|-----------|--------|-------------|------|
| 279 | □ 整机工艺优化 | 71 工作日 | 2019年12月16日 | 2021 |
| 280 | 输出辅料清单 | 1 工作日 | 2020年3月18日 | 201 |
| 281 | 输出标准工时表 | 1 工作日 | 2020年3月18日 | 201 |
| 282 | 优化结构装配工艺 | 2 工作日 | 2020年3月6日 | 201 |
| 283 | 优化装配工艺指导书 | 1 工作日 | 2020年3月10日 | 201 |
| 284 | 输出包装作业指导书 | 2 工作日 | 2020年3月20日 | 201 |
| 285 | 输出运输说明 | 1 工作日 | 2019年12月16日 | 201 |

图 4-10 优化前

注：作者电脑绘制后截图

| | | | | |
|-----|--------------------|--------|------------|------|
| 279 | □ 整机工艺优化 | 16 工作日 | 2020年2月26日 | 2021 |
| 280 | 输出辅料清单\输出标准工时表 | 1 工作日 | 2020年3月18日 | 201 |
| 281 | 优化结构装配工艺\优化装配工艺指导书 | 2 工作日 | 2020年2月26日 | 201 |
| 282 | 输出包装作业指导书\输出运输说明 | 1 工作日 | 2020年2月28日 | 201 |
| 283 | 优化整机调测作业指导书 | 2 工作日 | 2020年3月13日 | 201 |

图 4-11 优化后

注：作者电脑绘制后截图

通过对第三章的问题分析，项目进度延误的主要问题出在开发阶段，并且从进度计划我们看到产品研发项目是从计划阶段概要方案设计开始才会进入大量研发人员，然后到开发阶段工程样机评审完成资料归档释放研发人力资源，所以 WBS 分解优化重点在这一阶段进行。

根据上面的顺序优化，我们把 WBS 工作分解重新梳理出来为后面的优化做准备。

表 4-1 优化后的研发项目 WBS 表

| 序号 | 工作分解 | 活动 | 工作日 | 开始日期 | 结束日期 |
|----|-------------|----------------------|---------|-----------------|---------------------|
| 1 | 1 | 低压全新 产品计划 模板 | 309 工作日 | 2019 年 6 月 17 日 | 2020 年 8 月 20 日 |
| 2 | 1.1 | 概念阶段 | 23 工作日 | 2019 年 6 月 17 日 | 2019 年 7 月 17 日 |
| 3 | 1.2 | 计划阶段 | 65 工作日 | 2019 年 6 月 17 日 | 2019 年 9 月 13 日 |
| 4 | 1.3 | 开发阶段 | 212 工作日 | 2019 年 6 月 17 日 | 2020 年 4 月 7 日 |
| 5 | 1.3.1 | 开发样机 | 143 工作日 | 2019 年 6 月 17 日 | 2020 年 1 月 1 日 |
| 6 | 1.3.1.1 | 物料管理 | 15 工作日 | 2019 年 8 月 29 日 | 2019 年 9 月 18 日 |
| 7 | 1.3.1.1.1 | 启动新器 件认证 | 10 工作日 | 2019 年 8 月 29 日 | 2019 年 9 月 11 日 |
| 8 | 1.3.1.1.2 | 新器件测 试 | 2 工作日 | 2019 年 9 月 16 日 | 2019 年 9 月 17 日 |
| 9 | 1.3.1.1.3 | 新器件测 试定制件 单体认证 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 18 日 | 2019 年 9 月 18 日 |
| 10 | 1.3.1.1.4 | 更新初始 器件与供 应商选择 | 4 工作日 | 2019 年 8 月 29 日 | 2019 年 9 月 3 日 |
| 11 | 1.3.1.1.5 | 物料可采 购性评估 | 4 工作日 | 2019 年 8 月 29 日 | 2019 年 9 月 3 日 |
| 12 | 1.3.1.2 | 结构设计 | 43 工作日 | 2019 年 9 月 2 日 | 2019 年 10 月 30 日 |
| 13 | 1.3.1.2.1 | 结构详细 设计 | 11 工作日 | 2019 年 9 月 2 日 | 2019 年 9 月 16 日 |
| 14 | 1.3.1.2.2 | 结构详细 设计需求 跟踪 | 3 工作日 | 2019 年 9 月 17 日 | 2019 年 9 月 19 日 |
| 15 | 1.3.1.2.3 | 结构评审 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 20 日 | 2019 年 9 月 20 日 |
| 16 | 1.3.1.2.4 | 评审后优 化 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 23 日 | 2019 年 9 月 23 日 |
| 17 | 1.3.1.2.5 | 结构制图 | 5 工作日 | 2019 年 9 月 23 日 | 2019 年 9 月 29 日 |
| 18 | 1.3.1.2.6 | 结构外协 加工打样 | 22 工作日 | 2019 年 10 月 1 日 | 2019 年 10 月 30 日 |
| 19 | 1.3.1.3 | 硬件设计 | 46 工作日 | 2019 年 9 月 1 日 | 2019 年 11 月 3 日 |
| 20 | 1.3.1.3.1 | XXX 板 | 46 工作日 | 2019 年 9 月 1 日 | 2019 年 11 月 3 日 |
| 21 | 1.3.1.3.1.1 | 原理图设 计 | 14 工作日 | 2019 年 9 月 2 日 | 2019 年 9 月 19 日 |
| 22 | 1.3.1.3.1.2 | 原理图评审 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 20 日 | 2019 年 9 月 20 日 |
| 23 | 1.3.1.3.1.3 | 硬件详细设计 需求跟踪 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 20 日 | 2019 年 9 月 20 日 |

续表 4-1 优化后的研发项目 WBS 表

| 序号 | 工作分解 | 活动 | 工作日 | 开始日期 | 结束日期 |
|----|--------------|---------------|-------|-----------------|------------------|
| 24 | 1.3.1.3.1.4 | 器件检视 | 2 工作日 | 2019 年 9 月 20 日 | 2019 年 9 月 23 日 |
| 25 | 1.3.1.3.1.5 | 原理图评审 后修改 | 2 工作日 | 2019 年 9 月 23 日 | 2019 年 9 月 24 日 |
| 26 | 1.3.1.3.1.6 | PCB 布局 | 2 工作日 | 2019 年 9 月 25 日 | 2019 年 9 月 26 日 |
| 27 | 1.3.1.3.1.7 | PCB 设计 | 4 工作日 | 2019 年 9 月 27 日 | 2019 年 10 月 2 日 |
| 28 | 1.3.1.3.1.8 | PCB 评审 | 1 工作日 | 2019 年 10 月 3 日 | 2019 年 10 月 3 日 |
| 29 | 1.3.1.3.1.9 | PCB 评审后 更改 | 2 工作日 | 2019 年 10 月 4 日 | 2019 年 10 月 7 日 |
| 30 | 1.3.1.3.1.10 | PCB 外协加 工 | 7 工作日 | 2019 年 10 月 9 日 | 2019 年 10 月 17 日 |

注：由于表格过大只取部分作分析，详见附表 A1-A6

4.2.2 优化项目活动网络图

为了确保项目进度计划可以合理编制以及后续活动能够高效开展，需要对 WBS 分解的项目活动识别出逻辑关系、排列顺序然后在估算持续时间。所以首先必须明确整个项目活动相互之间的工作关系。对于项目活动网络图中的活动，当几项活动相互衔接时，必然会建立三种关系：平行活动,紧前活动，紧后活动。平行活动是两个或更多的活动可以在同一时间段内同时进行的活动，紧后活动是这些活动必须在前一个活动刚好完成后才能开始的的活动，紧前活动是这些活动刚好在下一个活动开始前的活动^[13]。所以整个项目内部活动之间有以下四种逻辑关系：活动结束-活动开始（F-S）、活动开始-活动开始（S-S）、活动结束-活动结束（F-F）、活动开始-活动结束(S-F)。通过以上的依赖关系就可以把所有相邻活动之间的关系都明确下来，让项目排布更具有科学性。本文活动网络图见图 4-12。

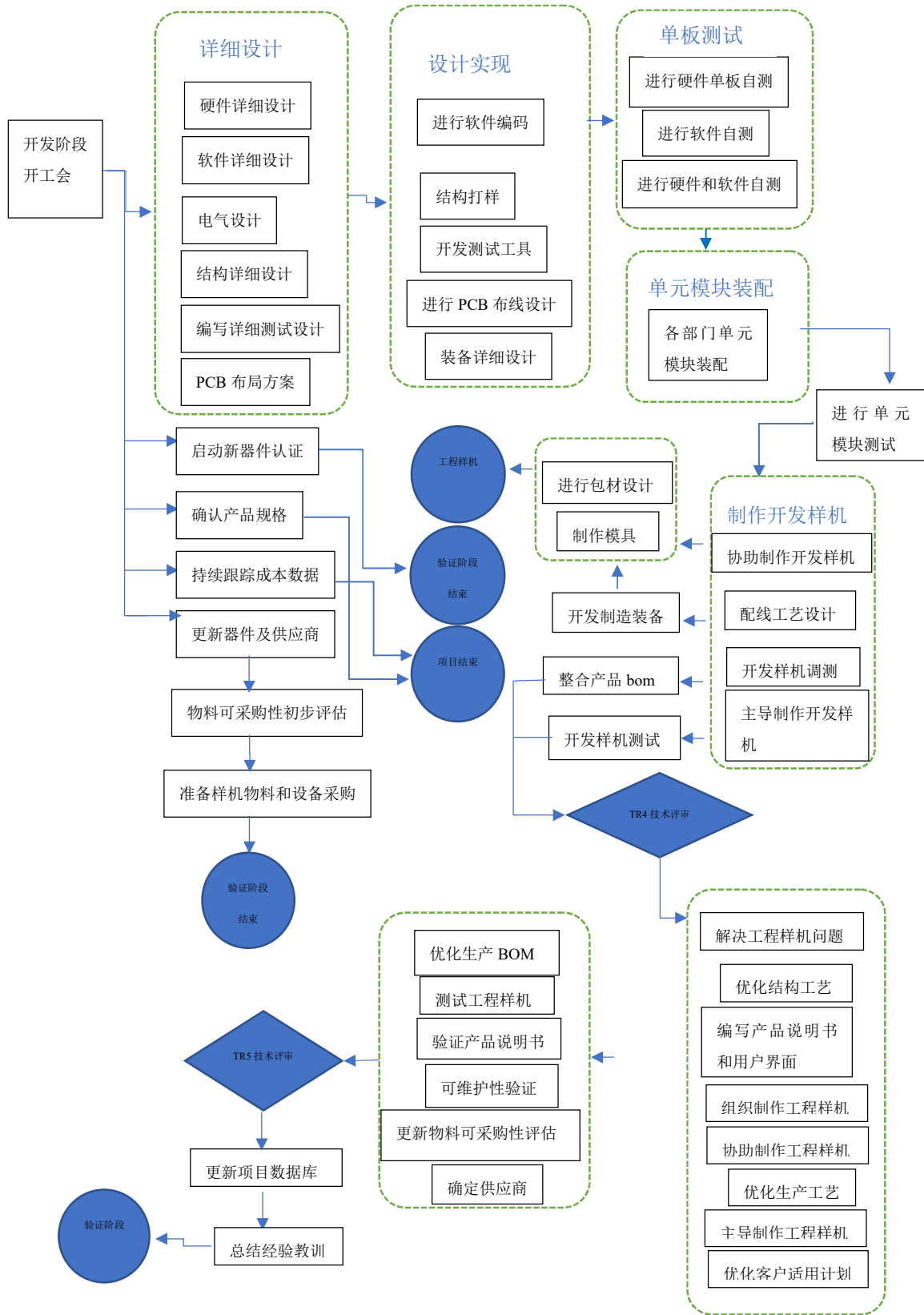


图 4-12 优化后的开发阶段项目活动网络图

根据上图 4-12 的项目活动网络,我们可以更清楚的看到网络活动路径。首先,可以更加清楚看出并平行关系的工作任务包,每个工作任务包可以交由部门经理根据项目的特点去调度资源,给出更加细化的工作任务,并可以再次根据逻辑关系排列活动顺序^[50],然后再交由项目经理将项目活动网络图全局排布,这样可以避免项目经理在对于技术上的难点、痛点而不好评估工作给后续编制项目计划带来隐患,同时也可以把技术上的风险提前就暴露出来,给项目进度计划上打好预防针。

4.2.3 基于 PERT 技术优化时间估算和关键路径

PERT技术优化是把每一项的工作时间当做随机变量去处理,通过运用概率统计方法计算得到项目活动平均所需时间,并以此时间作为活动网络图中各项活动的时间,而以前的时间评估是基于经验数据,现在的时间评估是运用科学的方法将不确定性转化为确定性计划,之后还可以进行网络进度计划参数计算和分析^[41]。

通常在不具备有关工作的持续时间的历史数据时,在较难估算工作持续时间时可对工作估计三种时间即三点估算法,估计出三种时间值,然后计算出平均值。这三种时间值分别是:最乐观时间(t1),最悲观时间(t2),最可能时间(t3)。
最乐观时间(t1):在最好的情况下估算出完成项目所有活动所需要的时间。
最悲观时间(t2):基于活动不能按照计划顺利进行,并且大量的潜在问题都将发生时候的情况下完成活动所估算的持续时间。
最可能时间(t3):在考虑时间和资源的约束条件下,所估算出的所有项目完成的活动时间。

结合这三种估算,计算出活动的期望时间 t_e ,统计学给出的计算公式如下:

期望时间 $t_e = (\text{最悲观时间} + 4 * \text{最可能时间} + \text{最乐观时间}) / 6$ ^[5]。

本文用PERT技术优化时间估算见下表4-2,

表 4-2 基于 PERT 的项目活动时间估算表

| 序号 | 工作分解 | 活动名称 | 最乐观 | 最悲观 | 最可能 | PERT 计算时间工作日 |
|----|--------------|--------------|-----|-----|-----|--------------|
| 1 | 1.3.1.1.1 | 启动新器件认证 | 3 | 14 | 10 | 9.5 |
| 2 | 1.3.1.1.2 | 新器件测试 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 3 | 1.3.1.1.3 | 新器件测试定制件单体认证 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 4 | 1.3.1.1.4 | 更新初始器件与供应商选择 | 1 | 5 | 4 | 2 |
| 5 | 1.3.1.1.5 | 物料可采购性评估 | 1 | 5 | 4 | 3.67 |
| 6 | 1.3.1.2.1 | 结构详细设计 | 5 | 12 | 11 | 10.17 |
| 7 | 1.3.1.2.2 | 结构详细设计需求跟踪 | 1 | 3 | 3 | 2.67 |
| 8 | 1.3.1.2.3 | 结构评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 9 | 1.3.1.2.4 | 评审后优化 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 10 | 1.3.1.2.5 | 结构出图 | 2 | 7 | 5 | 4.83 |
| 11 | 1.3.1.3.1.1 | 原理图设计 | 3 | 20 | 14 | 13.2 |
| 12 | 1.3.1.3.1.2 | 原理图评审 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 13 | 1.3.1.3.1.3 | 硬件详细设计需求跟踪 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 14 | 1.3.1.3.1.4 | 器件检视 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 15 | 1.3.1.3.1.5 | 原理图评审后修改 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 16 | 1.3.1.3.1.6 | PCB 布局 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 17 | 1.3.1.3.1.7 | PCB 设计 | 2 | 7 | 4 | 4.17 |
| 18 | 1.3.1.3.1.8 | PCB 评审 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 19 | 1.3.1.3.1.9 | PCB 评审后更改 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 20 | 1.3.1.3.1.10 | PCB 外协加工 | 5 | 14 | 7 | 7.83 |
| 21 | 1.3.1.3.1.11 | 单板 BOM 制作 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 22 | 1.3.1.3.1.12 | 单板领料 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 23 | 1.3.1.3.1.13 | 单板焊接 | 3 | 7 | 5 | 5 |
| 24 | 1.3.1.3.1.14 | 单板调试 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 25 | 1.3.1.3.1.15 | 控制板单板自测 | 1 | 5 | 2 | 2.33 |
| 26 | 1.3.1.3.1.16 | 控制板单板测试 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 27 | 1.3.1.4.1 | XX1 模块详细设计 | 5 | 14 | 10 | 9.83 |
| 28 | 1.3.1.4.2 | XX2 模块详细设计 | 5 | 14 | 10 | 9.83 |
| 29 | 1.3.1.4.3 | 软件需求跟踪 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 30 | 1.3.1.4.4 | 软件详细设计评审 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 31 | 1.3.1.4.5 | XX1 模块编码 | 2 | 7 | 5 | 4.83 |
| 32 | 1.3.1.4.6 | XX2 模块编码 | 2 | 7 | 5 | 4.83 |

注：图表仅是部分 PERT 时间评估，具体看附录 B1-B4

以上是作者使用PERT技术，对产品研发项目的活动工时重新优化估算持续时间。举例说明，启动新器件认证的最乐观时间是3天，最悲观完成时间是14天，最可能完成时间是10天，以上代入公式，活动期望时间 $t_e = (\text{最悲观时间} + 4 * \text{最可能时间} + \text{最乐观时间}) / 6$ ，得到活动期望时间 $t_e = (3 + 4 * 10 + 14) / 6 = 9.5$ 天，所以PERT计算时间工作日这里就是9.5天。

关键路径是项目网络图中进度安排的灵活性（自由时间）差为零的活动之间串联的路径。即关键路径的活动就是关键活动，关键路径的节点就是关键节点，关键活动的总浮动时间为零。如果关键路径上的活动有延迟，那么导致最终的结果就是整个项目不能按时完成。反之，关键路径上的活动能够提前完成，那么整个项目完成的时间也可以提前^[34]。所以在编制项目进度计划时，项目经理最先做的就是找到关键路径，并且在项目执行过程中要密切关注关键路径的活动。

下面就是通过PERT优化研发项目时间估算，然后重新对项目活动网络图进行优化，通过对产品研发在开发阶段从开始到结束的活动逻辑关系，从时间上来分析，把灵活性最差的的活动串联起来后找到项目的关键路径。如下项目关键路径图4-13，

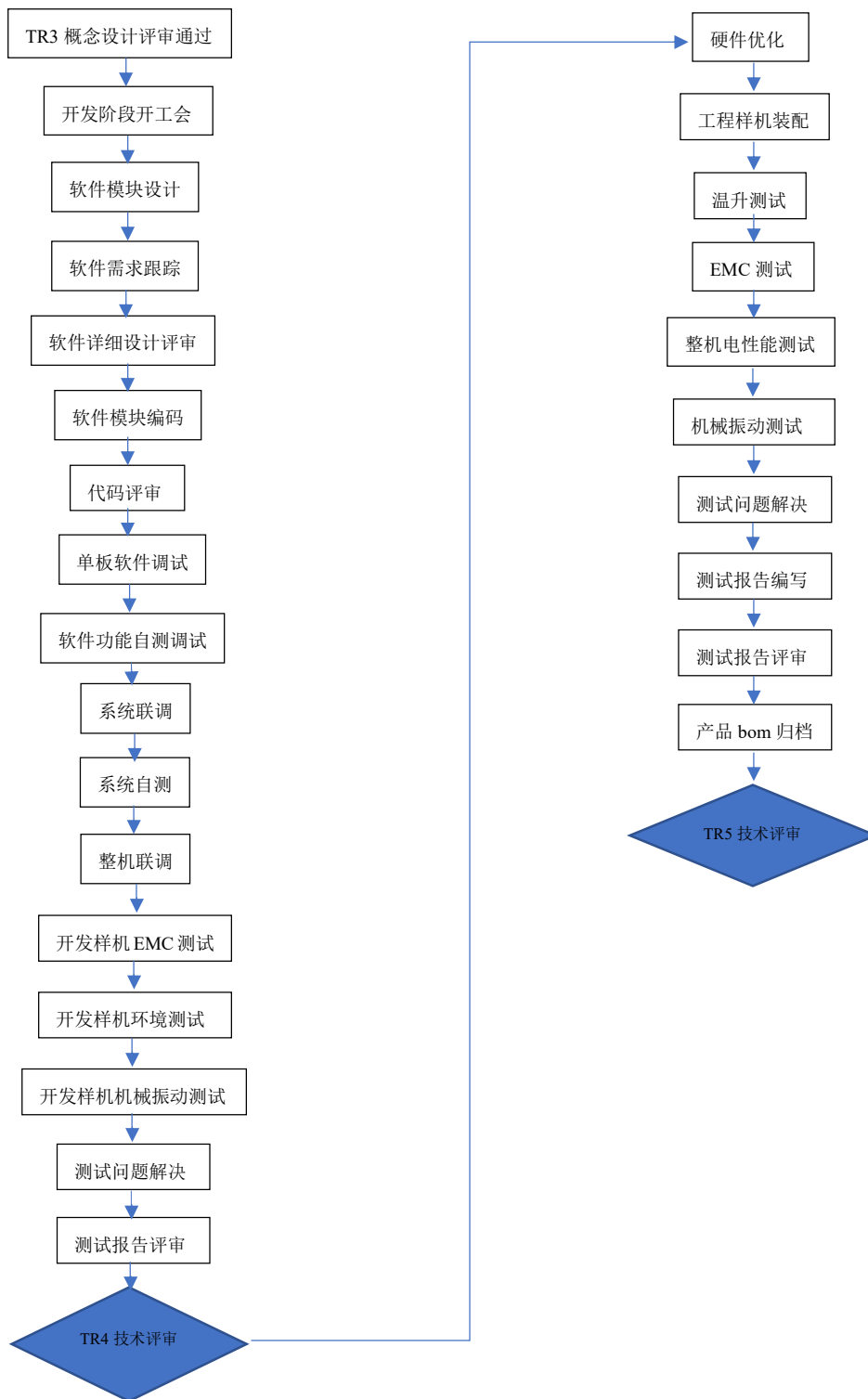


图 4-13 优化后的开发阶段项目关键路径

项目经理和项目管理人员找到项目关键路径后,就应该对项目关键路径上的活动密切关注,以保证他们不会被延迟,因为任何一个项目关键活动的延迟,务必对项目计划和项目进度造成延迟^[49],因此对于关键路径上的资源计划和分配上要重点关注。另外,在项目实施过程中,在不延长关键路径时间的情况下,不在关键路径上的活动为了保证关键路径上的活动资源充足,有时相互间资源需要互换以此稳定关键路径的时间是项目进度得以顺利实施的关键性。接下来根据已经识别出的关键路径以及用 PERT 技术优化出估算的持续时间,我们可以估算出产品研发项目在开发阶段开始到结束的时间^[33]。本文通过 PERT 技术优化的时间估算及找到的关键路径后的项目工期时间表见表 4-3,

表 4-3 PERT 优化后的关键路径和项目工期时间表

| 序号 | 工作分解 | 活动名称 | 最乐观 | 最悲观 | 最可能 | PERT 计算时间 |
|----|------------|-------------|-----|-----|-----|-----------|
| 1 | 1.3.1 | 开发样机 | | | 143 | |
| 2 | 1.3.1.4.1 | XX1 模块详细设计 | 5 | 14 | 10 | 9.83 |
| 3 | 1.3.1.4.2 | XX2 模块详细设计 | 5 | 14 | 10 | 9.83 |
| 4 | 1.3.1.4.3 | 软件需求跟踪 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 5 | 1.3.1.4.4 | 软件详细设计评审 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 6 | 1.3.1.4.5 | XX1 模块编码 | 2 | 7 | 5 | 4.83 |
| 7 | 1.3.1.4.6 | XX2 模块编码 | 2 | 7 | 5 | 4.83 |
| 8 | 1.3.1.4.7 | 代码评审 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 9 | 1.3.1.4.8 | 单板软件调试 | 1 | 5 | 3 | 3 |
| 10 | 1.3.1.4.9 | 软件功能自测调试 | 1 | 5 | 3 | 3 |
| 11 | 1.3.1.4.10 | 系统联调 | 3 | 10 | 7 | 6.83 |
| 12 | 1.3.1.4.11 | 系统自测 | 3 | 10 | 7 | 6.83 |
| 13 | 1.3.1.6.6 | 整机联调 | 1 | 3 | 3 | 2.67 |
| 14 | 1.3.1.7.4 | 开发样机 EMC 测试 | 3 | 7 | 7 | 6.33 |
| 15 | 1.3.1.7.5 | 开发样机整机电性能测试 | 3 | 10 | 8 | 7.5 |
| 16 | 1.3.1.7.6 | 开发样机环境测试 | 1 | 5 | 7 | 5.67 |
| 17 | 1.3.1.7.7 | 开发样机机械振动 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 18 | 1.3.1.7.8 | 测试问题解决 | 1 | 5 | 5 | 4.33 |
| 19 | 1.3.1.7.12 | 开发样机测试报告编写 | 0.5 | 2 | 2 | 1.75 |
| 20 | 1.3.1.7.13 | 开发样机测试报告评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 21 | 1.3.1.8.1 | 开发样机料本分析 | 2 | 10 | 10 | 8.67 |

续表 4-3 PERT 优化后的关键路径和项目工期时间表

| 序号 | 工作分解 | 活动名称 | 最乐观 | 最悲观 | 最可能 | PERT 计算时间 |
|----|--------------|----------------------|-----|-----|-----|-----------|
| 22 | 1.3.1.8.2 | 准备 TR4 评审及分发 评审材料 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 23 | 1.3.1.8.4 | 问题沟通 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 24 | 1.3.1.8.5 | 举行 TR4 评审会 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 25 | 1.3.1.8.6 | 资料归档 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 26 | 1.3.2.2.1.2 | 原理图评审 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |
| 27 | 1.3.2.2.1.1 | 原理图优化 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 28 | 1.3.2.2.1.3 | 原理图评审后修改 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |
| 29 | 1.3.2.2.1.4 | PCB 优化 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 30 | 1.3.2.2.1.5 | PCB 评审 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |
| 31 | 1.3.2.2.1.6 | PCB 评审后更改 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |
| 32 | 1.3.2.2.1.7 | PCB 外协加工 | 5 | 10 | 7 | 7.17 |
| 33 | 1.3.2.2.1.8 | 单板 BOM 制作 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 34 | 1.3.2.2.1.9 | 单板领料 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 35 | 1.3.2.2.1.10 | 单板焊接 | 5 | 10 | 7 | 7.17 |
| 36 | 1.3.2.2.1.11 | 单板调试 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 37 | 1.3.2.2.1.12 | 单板自测 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 38 | 1.3.2.2.1.13 | 单板测试 | 2 | 3 | 2 | 2.17 |
| 39 | 1.3.2.5.1 | 整合产品 BOM(整机) | 1 | 5 | 3 | 3 |
| 40 | 1.3.2.5.2 | 整机领料 | 0.5 | 2 | 1 | 1 |
| 41 | 1.3.2.5.3 | 工程样机装配 | 0.5 | 2 | 6 | 4.4 |
| 42 | 1.3.2.5.4 | 输出工程样机装配 | 0.5 | 2 | 1 | 1 |
| 43 | 1.3.2.5.5 | 整机工艺评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 44 | 1.3.2.6.1 | 温升测试 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 45 | 1.3.2.6.2 | 安规测试 | 3 | 7 | 5 | 5 |
| 46 | 1.3.2.6.3 | EMC 测试 | 4 | 7 | 5 | 5.2 |
| 47 | 1.3.2.6.4 | 整机电性能测试 | 5 | 10 | 8 | 7.83 |
| 48 | 1.3.2.6.5 | 环境测试 | 5 | 10 | 7 | 7.2 |
| 49 | 总计 | | | | | 178.19 |

注：图表仅是部分 PERT 时间评估，具体看附录 C1-C2

综上,我们计算出用 PERT 技术优化后的关键路径活动的在开发阶段的总工期时间是 178.19 天,对比优化前开发阶段总用工时是 192 天,经过 PERT 计划的总用时要提前 14 天左右完成项目。

4.2.4 运用 CCPM 技术优化研发项目计划

CPM 和 PERT 技术在项目进度计划中得到了广泛的应用,但是这些传统方法仅仅考虑了活动间的逻辑关系,忽略了资源约束关系,同时也忽略了实施过程中的不确定因素。比如学生综合征和帕金森定律。项目经理在编制项目进度计划

时，估算时间都是基于干系人来制定，而干系人在汇报工作预估时间时会流出几天裕量，以免后期项目进度太紧张。可能只需要 5 天的活动，会要求 7 天来完成，这样无形中带来了资源的浪费，项目的拖延。帕金森定律表明，人们只要还有时间，就会把工作拖沓到最后的时间来完成，并且时间紧张的情况下来完成，完成质量也是低下的，并且还会给项目整体造成延误甚至完不成的风险。那么 CCPM 技术是对 PERT 技术的进一步的优化^[48]，按照 50%的工作概率完成项目，又有 50%的概率要延期对时间进行重新估算，按照平均规律，结果是可以使项目整个估算时间总体压缩 50%，然后把富裕的时间统筹调度，使备用的时间有效运用，是干系人不会储备时间高效高质的完成任务^[28]。本文对项目关键路径来识别的项目关键链网络图见下图 4-14。

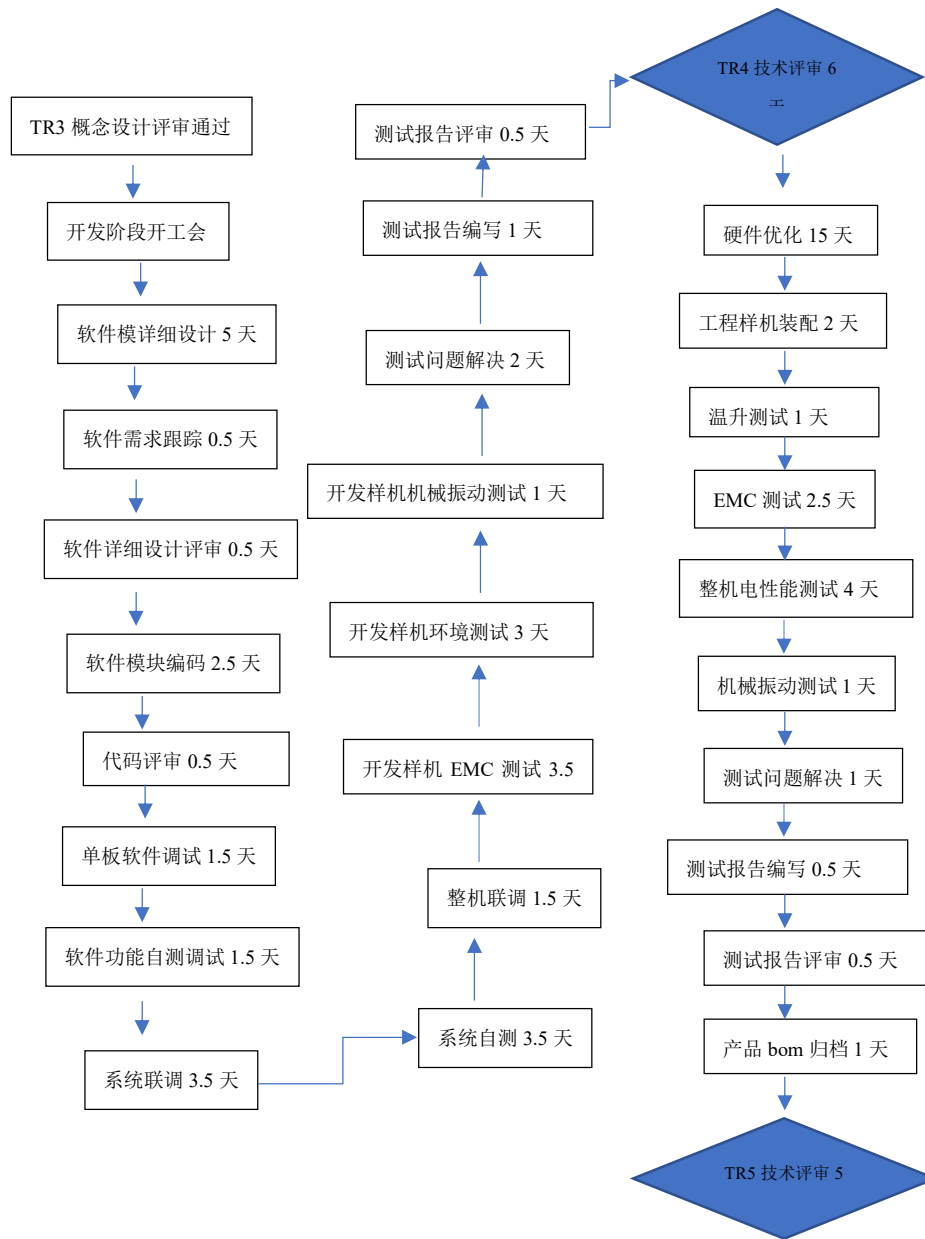


图 4-14 优化后的关键链网络图

上图主要是运用 CCPM 技术将项目关键路径路上的活动进行时间重新估算并制作的关键链网络图。这样可以缩短项目相关方对活动问题假设的时间，也有利于为项目预留缓冲期。由于目前的计划是基于 CCPM 技术的 50%的完工期，如果按此计划实行可能会导致项目延迟^[30]。根据 CCPM 理论，可以另外的 50%的时间设立缓冲区来因对项目计划中的风险确保项目能够按时完工。本文将利用 CCPM 的两种缓冲区对计划进行优化。汇入缓冲区 FB 是预防非关键路径的活动

变成关键路径的,在非关键路径和关键路径的交汇之处插入 50%的时间作为缓冲区。最后把关键链上的活动压缩的 50%时间作为项目缓冲区 PB,放在项目末端作为缓冲期。

表 4-4 基于 PERT 的关键路径和项目工期时间表

| 序号 | WBS | 任务名称 | 缓冲期工作日 |
|-----|------------|-----------------|--------|
| FB1 | 1.3.1.4.3 | XX2 模块详细设计汇入缓冲 | 5 |
| FB2 | 1.3.1.4.7 | 软件模块编码汇入缓冲 | 2.5 |
| FB3 | 1.3.1.4.11 | 系统联调汇入缓冲 | 3.5 |
| FB4 | 1.3.1.4.12 | 系统自测汇入缓冲 | 3.5 |
| FB5 | 1.3.1.7.5 | 开发样机 EMC 测试汇入缓冲 | 3 |
| FB6 | 1.3.1.7.7 | 开发样机环境测试汇入缓冲 | 3.5 |
| FB7 | 1.3.2.3 | 硬件优化汇入缓冲 | 15 |
| FB8 | 1.3.2.6.4 | EMC 测试汇入缓冲 | 2.5 |
| FB9 | 1.3.2.6.5 | 整机电性能测试 | 4 |
| PB | 1.6 | 项目缓冲 | 42.5 |

以上是根据 CCPM 缓冲期的原则,项目缓冲和汇入缓冲的大小均按照缓冲区链路上各工序 50%置信度估计时间之和的一半的重新设计,一共设置了 9 个 FB 汇入缓冲区和在项目结束前设置 1 个项目缓冲区如上表所示。将压缩的 50%的时间其中 42.5 天作为项目缓冲期 PB,另外一半时间 42.5 天作为汇入缓冲期插入在项目关键路径和非关键路径的交汇处,这样就可以保护非关键链活动的延误对关键链的影响,又可以是关键链活动可以顺利开展并尽早开始^[46]。CCPM 技术的特点就是充分考虑到其他因素对项目关键链活动时间的影 响,通过压缩工期减少帕金森定律和项目技术人员对技术完美追求的出现,又设置项目缓冲期,确保项目统筹的时间能够保证项目按时完成客服风险的要求。CCPM 技术和 PERT 技术的对进度计划的优化,可以在整个项目中分别发挥作用,使用 CCPM 对项目团队设立完成目标,用 PERT 做基准在项目进度实施工程中监控,以确保项目进度计划在规定时间内高效高质量的完成。

4.2.5 优化设计效果的评估

以上 4 节通过运用 WBS 工具重新工作分解和优化活动顺序，重新优化活动网络图、通过 PERT 技术优化时间估算和关键路径，运用 CCPM 技术对研发项目计划进行了全方位优化。本文优化前后对比见下表 4-5。

表 4-5 进度计划优化前后进行的对比表。

| 开发阶段进度计划 | 项目工期 | 时间估算 | 关键活动缓冲数 | 缓冲时间 |
|----------|------|---------|---------|------|
| 优化前 | 219 | 专家判断 | 0 | 0 |
| 优化后 | 179 | Pert 技术 | 10 | 85 |

通过运用项目进度管理的工具和方法对项目进度计划进行优化后，可以明显看到优化方案的优势，首先项目工期通过 WBS 的重新分解和项目活动逻辑关系的重新分配，项目工期比原来缩短了 40 天时间这是项目进度加快最直观的优势^[37]。其次运用 PERT 技术对工作活动时间重新估算，规避掉了项目计划时项目人员的帕金森定律影响项目进度延迟的风险，而且和传统的专家判断方法比较，估算时间更科学更合理，再次，通过引入 CCPM 关键链管理技术到产品研发项目中，更加方便项目经理和项目管理人员对于项目进度的监控，并且关键链管理技术在关键路径上的关键活动加入引入缓冲，使得项目在实施过程中关键路径不会改变，及时的在项目结束前加入项目缓冲，对于项目进度形成双重保障，让整个项目在开展时不会延迟，而且还可能会让项目提前完成。

4.3 强化项目进度管理数字化在线监控及项目控制流程

4.3.1 监控项目进度计划

采用青铜器 RDM 软件，可以多项目组合管理、是一个综合性更强的研发绩效管理平台。主要利用他可以交互实时在线更新项目进度这一特点，项目部可以定期统计 RDM 中各项目负责人更新的项目进度，与各项目负责人进行项目进度沟通（以发电子邮件形式），发布项目周报/月报（以发电子邮件形式知会各项目组成员及部门领导），定期组织项目进度会议。各项目负责人每日更新 RDM 中的项目进度，回复项目部项目进度及其他相关事宜，具体回复内容根据项目部的需求内容（以发电子邮件形式），定期准时参加项目进度会议，并且由项目经理汇报项目进度。

下面是规范项目部项目跟进和汇报工作，确保各项目负责人良好的配合项目部工作，从而控制项目进度管理的流程图，具体流程图见图 4-15：

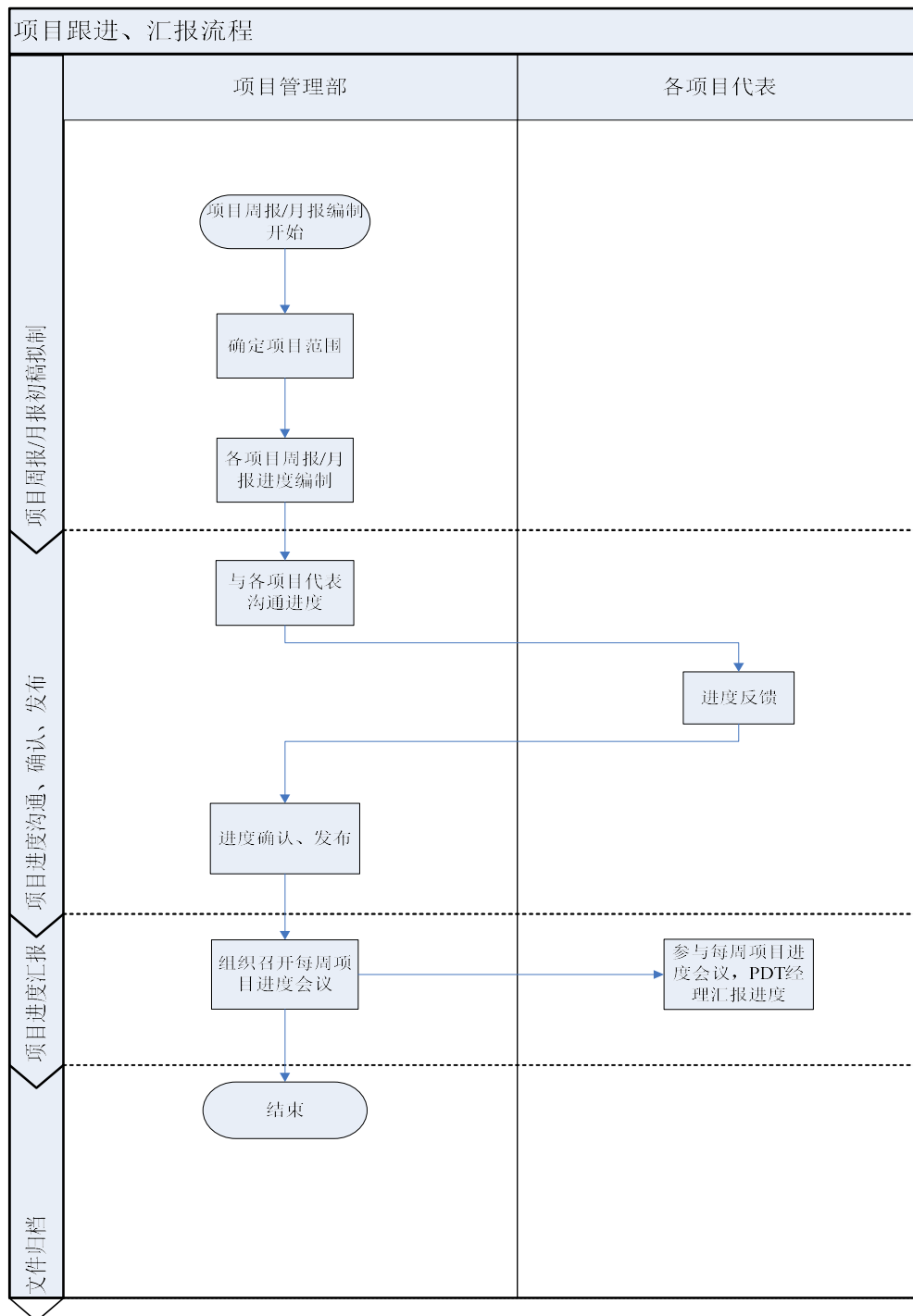


图 4-15 流程图

注：作者电脑绘制后截图

下面是对流程图中规范项目部项目跟进和汇报流程的详细说明，见表 4-5，

表 4-5 流程说明

| 序号 | 流程节点内容 | 节点说明 | 责任人 | 流程所属阶段 |
|----|-------------|---|-----|--------------|
| 1 | 项目周报/月报编制开始 | 1.周报每周四开始编制，每周五发布（误差 1 天；特殊情况根据实际情况而定）； 2.月报每月初开始编制，7 号之前发布（误差 2 天；特殊情况根据实际情况而定）。 | 项目部 | 项目周报/月报初稿拟制 |
| 2 | 确定项目范围 | 周报及月报中出现的项目必须是 1.已完成立项； 2.已确定项目计划并发布。 | 项目部 | |
| 3 | 各项目周报、月报编制 | 1.统计 RDM 中数据：前提为各项目代表接收到 RDM 中的任务后每日更新进度；项目部于每周末或月初统计 RDM 中的数据。 2.周报包括重点关注事宜、本周详细活动状态、本周及下周临时任务等； 3.月报包括： A. 月度项目进度状态通报（项目概述、项目偏差率、项目重要风险及问题、临时任务等） B. 项目过程数据（文件提交情况、器件打样次数、软件测试通过率、规格书变更等重要数据） C. 里程碑评审需求 a. 项目变更汇总表 | 项目部 | |
| 4 | 与各项目代表沟通进度 | 项目部根据 RDM 中的数据及日常进度跟踪形成周报/月报初稿后与各项目代表进行项目进度沟通（以发电子邮件形式）。 | 项目部 | 项目进度沟通、确认、发布 |

续表 4-5 流程说明

| 序号 | 流程节点内容 | 节点说明 | 责任人 | 流程所属阶段 |
|----|--------------|--|-------|--------|
| 5 | 各项目代表进度反馈 | 1.各项目代表必须在项目部要求的指定时间内反馈进度（以发电子邮件形式）； 2.若指定时间未收到进度反馈，项目部以 RDM 中各项目代表更新的最新进度为准。 | 各项目代表 | |
| 6 | 进度确认、发布 | 1.项目部根据各项目代表反馈和 RDM 中的数据形成项目进度周报/月报定稿； 2.在指定时间内发布项目周报/月报； 3.发布范围：上海研发部全部、各产品线代表、各项目代表、公司级部门经理、总经办。 | 项目部 | |
| 7 | 组织召开每周项目进度会议 | 1.项目部发会议通知，定于每周固定时间召开项目进度会议（需要根据实际情况而定，特殊情况再定）； 2.周报每周汇报、月报在与之最邻近的周报汇报日汇报。 | 项目部 | 项目进度汇报 |
| 8 | 参与每周项目进度会议 | 1.各项目代表按时参会； 2.项目经理汇报项目进度。 | 各项目代表 | |
| 9 | 结束 | 项目周报/月报归档 | 项目部 | 文件归档 |

4.3.2 监控项目变更管理流程

项目周期各个阶段都会经常发生范围变更，技术变更，其他变更（人力，资源冲突等）如果没有很好的流程管理控制就会导致项目的进度、范围和成本的产生差异。但目前的变更管理都是由部门职能经理负责控制，变更的控制会受职责角色的片面性影响，抑或变更审批者长期出差没人受理而导致项目进度延误。例

如设计人员发起物料变更，可能仅从设计的可靠性去考虑，但往往忽视物料在市场上的紧缺型又或者元器件的成本过高对产品的转产后成本的评估。后期生产过程中遇到物料交期过长无法生产，抑或成本过高采购价格谈判失败无法引入供应商，设计又要再发起物料变更流程，这样既造成项目进度延迟又浪费大量人力资源在变更上^[25]。因此需要新建立项目变更管理流程来监控项目执行阶段所有变更对进度、成本、范围的影响，这样项目经理就可以对项目进度更好的监控。具体项目变更流程图如图 4-15，

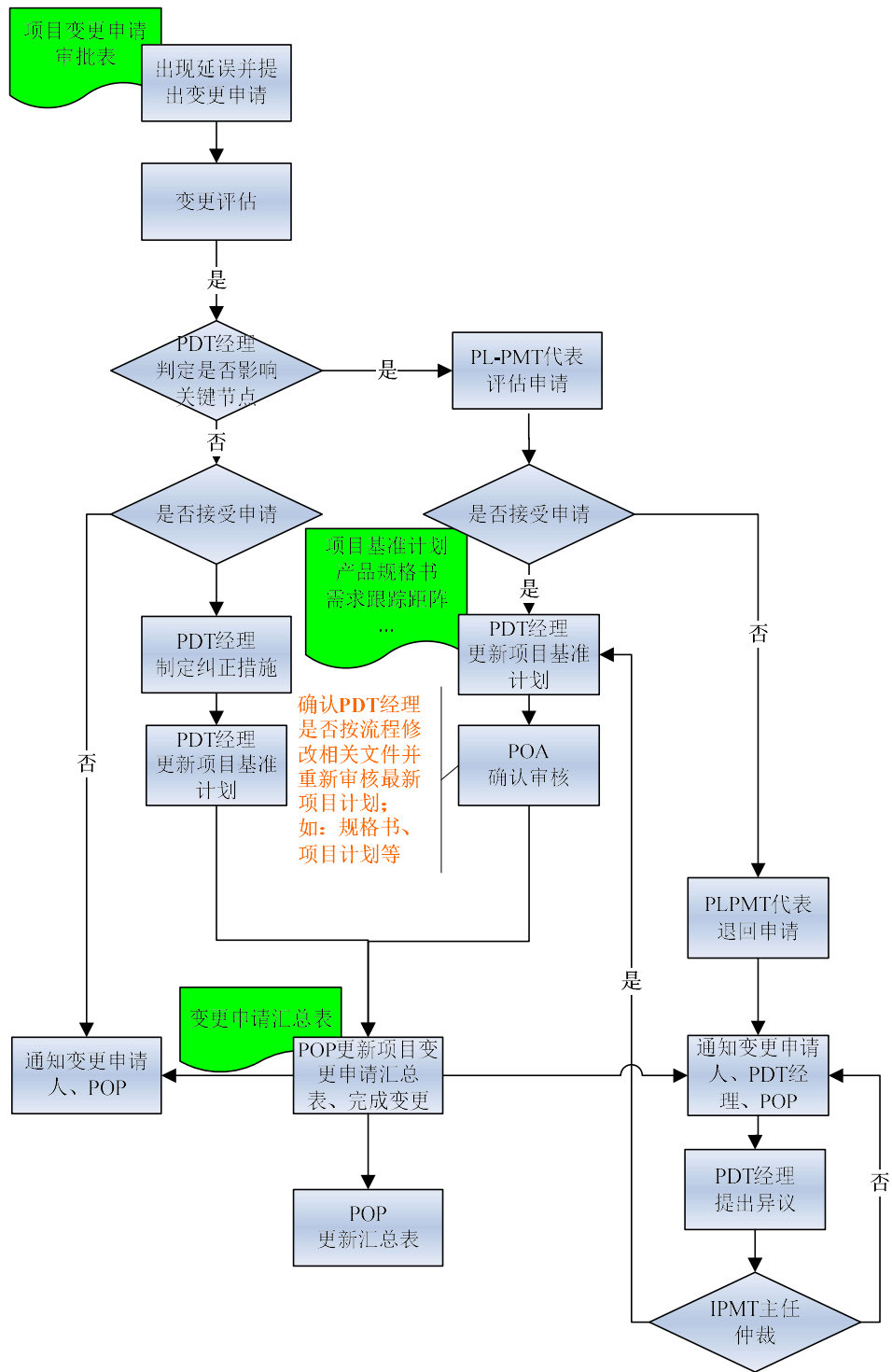


图 4-15 流程图

注：作者电脑绘图后截屏

上图变更流程图中的各角色定义和职责如下表 4-6:

表 4-6 角色职责

| 角色 | 描述 |
|---------------------------------|--|
| 申请人 | 项目参与人, 所有可能提交变更请求的人员。 |
| 项目经理 (PDT) | 提出变更请求 ^[39] 。 对过程中所有变更请求制定纠正措施。 决定批准不影响审批节点的变更请求或拒绝项目中提出的变更请求。 |
| 产品线组 合管理团 队代表 (PL-PMT) | 决定批准或拒绝影响审批节点项目所提出的变更请求。 |
| 质量代表 (PQA) | 当影响项目审批节点时, 确认项目经理是否按流程修改相关文件并重新审核最新项目计划; 用于后续技术评审时作为审核依据, 如: 规格书、项目计划等。 |
| 项目工程 师 (POP) | 负责按已被批准的《变更申请、审批表》内容、纠正措施方案、及修改后项目计划的变更内容进行发布, 更新变更记录表, 并负责跟踪项目后续开发活动; 评价变更措施效果。 |
| 集成组合 管理团队 主任 (IPMT) | 当项目经理与产品线组合管理团队代表对变更请求意见不一致时, 有最终裁决权。 |

新变更流程具有全局观, 具体明确以下内容:

变更申请: 是当出现偏差时, 项目参与人均可根据情况提出正式的变更申请。

变更说明: 必须备注变更原因描述, 为项目经理提供审批依据。

变更识别: 根据变更申请内容, 项目经理识别变更带来的影响, 权衡可行性方案以及每种方案的利弊并制定纠正措施, 为最终是否同意变更提供判断标准。

变更审批: 审核变更申请、考虑所有变更支持性文件、根据每个变更申请

的相关价值 决定批准还是拒绝、解决变更争议（当两个或两个以上变更撞车时）、解决变更问题并最终决定实施变更时间表。

1. 判定该变更是否会影响里程碑节点如不影响里程碑节点，同意或退回变更；如同意该项变更，项目经理在制定纠正措施后，对变更请求进行审批。
2. 对技术评审节点产生影响的变更申请，产品线组合管理团队代表、集成组合管理团队主任根据变更内容描述，权衡利弊，同意或退回变更。

变更实施：在项目变更申请提到批准之后，对原项目的范围、计划进度等进行更正、记录变更，并以修改后的最终文件进行项目的实施行为。

变更评价：评价变更是否成功。

4.3.3 监控设计和开发评审流程

项目进入设计开发过程中对各个环节的关键节点都要进行审核和评审，确保各个环节的设计质量得到充分保证。评审形式以召开评审会为主；简单的单项设计是否需要召开评审会由部门经理决定。每次评审前申请人需在 OA 里填写《设计和开发评审表》。见下表 4-7。所有评审项目管理工程师必需到场，负责设计和开发评审要内容的确认。所有研发阶段评审总工必须参加除特审外，评审会通过审核后才能开始后续设计工作^[11]。评审时相应提交的文档应齐全，除经总工批准外，否则不予评审。其主要目的是保证项目在关键节点前工程师能按时完成工作包内容，不给后期留下风险，遇到问题做到早发现早解决^[51]。工程师在系统中提出评审申请，项目部确认文件齐全后方可进行预审，需要召开评审会的由项目工程师负责组织召开，并完成评审会前确定及会后的检查项确认。评审成员由项目管理工程师按《评审员名单》勾选；名单列表每半年更新一次，由项目部负责实施。

表 4-7 《设计和开发评审表》

| 设计和开发评审表 | | | | |
|---------------------|--------|-------|----|-------|
| 申请人 | | 申请日期: | 自动 | 评审单编号 |
| 项目名称 | | 型号规格 | | 项目负责人 |
| 评审主题 | 是否申请特审 | | | |
| 评审需提交的文档列表 | | | | |
| 序号 | 文件名 | | 版本 | 编写人 |
| 1 | | | | |
| 附件加载 | | | | |
| 资料是否完整 | | | | |
| 预审结论 | | | | |
| 序号 | 姓名 | 预审结论 | 建议 | |
| 1 | | | | |
| PDT 经理确认 预审最终结论 | | | | |
| | | | 建议 | |
| 评审会结论 | | | | |
| 序号 | 姓名 | 评审会结论 | 建议 | |
| 1 | | | | |
| 纠正/改进措施的跟踪验证结果: | | | | |
| PDT 经理确认 评审会最终结论 | | | | |
| | | | 建议 | |
| 研发总监批准 | | | | |
| | | | 建议 | |

具体流程图和责任人及工作要求见下表 4-8，

表 4-8 具体操作流程

| 流 程 | 岗/角色 | 工作要求 |
|------------------------------------|--------------------|--|
| <p>评审申请 申请人</p> | 所有人 | <p>所有人均可以通过 OA 系统提出评审申请。填写评审项目、内容、文件名称等信息，加载相关附件并勾选项目管理工程师。</p> |
| <p>勾选 确认评审资料齐套 项目管理工程师</p> | 项目管理部 | <p>按提请内容，查阅评审文件是否齐全，手动勾选预审人（多人）、PDT 经理名单。</p> |
| <p>勾选 预审意见 预审人填写意见及结论</p> | 预审人 PDT 经理 | <p>并行操作--查阅提交文件并确认内容完整度，是否符合要求（预审人员需对评审质量及评审文件负责）。必需明确是否通过</p> |
| <p>确认预审结果 PDT 经理</p> | PDT 经理 | <p>确认预审最终结果(PDT 经理对此项有否决权,以 PDT 经理结论为准) 预审最终结果为:</p> |
| <p>评审会 勾选</p> | | <p>1.预审通过，不需要召开评审会，此评审为最终评审，此项任务结束，通知到申请人，被评文件提交审批、归档。</p> |
| <p>项目部勾选评审专家 项目管理工程师</p> | 项目管理部 评审会专家 | <p>2.评审通过，召开评审会：PDT 经理勾选项目管理工程师，由项目管理工程师组织召开评审会议，填写评审会时间、地址并手动勾选：评审会人员名单（项目部按评审会议检查项对负责评审会会前、会中内容、会后检查、追踪）。</p> |
| <p>评审专家意见 按评审会填写会后意见</p> | 申请人 | <p>3.评审不通过，退回重提预审。勾选评审专家、组织评审召开评审会议；</p> |
| <p>评审意见修改 申请人</p> | PDT 经理 研发总监 | <p>并行操作--填写存在问题及改进建及评审结论（参评人员需对评审会评审内容负责），必需明确是否通过</p> |
| <p>结果确认 PDT 经理</p> | 归档 | <p>针对评审意见，填写纠正、改进措施的跟踪验证结果后再次提交</p> |
| <p>最终审批 研发总监</p> | | <p>确认修改内容，审批或退回； 审批或退回；</p> |
| <p>归档 申请人</p> | | <p>归档到申请人、项目管理部 申请人完成与会意见后，将经部门经理审批后的文件与评审记录一起存档。</p> |

4.3.4 优化设计效果的评估

通过前几节对项目进度的监控、设计和开发评审流程的监控、项目变更管理流程的监控等工具对项目计划进行全面优化，优化前后的对比评估如下表 4-9:

表 4-9 项目监控优化对标评估

| 项目进度控制 | 计划监控 | 项目会议 | 流程变更 | 评审制度 |
|--------|----------------------------|-------|------|------|
| 优化前 | 邮件+Microsoft project | 时间不固定 | 局限性 | 不系统 |
| 优化后 | 邮件+ Microsoft project +RDM | 时间固定 | 全面性 | 系统化 |

对比优化前后的结果，可以发现优化后项目进度计划监控可以通过软件实时监测到员工在项目中的进展，工作任务的饱和度，工作任务的完成率，员工项目中是否遇到问题或者受学生综合症影响项目进度，项目会议的固定确保项目经理和项目管理人员可以更全面监控项目的健康状态，及早发现项目进度中出现的问题，通过比较计划和实际的对比分析，也可以在管理进度中发现可以持续优化的地方^[24]。重新梳理和制定项目的变更管理流程，让项目经理可更好的监控跨职能部门的变更动作，避免变更流程问题导致的进度偏差不受控。经过如上的优化设计后，可以有效的监控项目活动实施状态是否时间健康和可是检验实施成果，保证产品研发项目成功完成。

4.4 优化产品研发组织结构

如第三章分析，作为研发项目的关键部门不应挂在集团下面来管理，这样只会带来低效、拖沓的执行，所以优化后应将测试部门拆分给各事业部划为各事业部的研发部门来管理，设立重新设立测试部经理汇报给研发部经理，项目经理可以向测试经理申请调用测试工程师，不用向优化前去集团申请资源，人员的调用释放，项目经理都不可避免会和集团争权的现象发生，沟通协调不成影响项目进度的正常运行^[40]；将采购部门也同时拆分给各事业部下，独立运营，设立采购经理直接汇报给事业部经理，采购经理根据物料类别给不同的采购专员负责维护，这样可以保证采购专员即便在不同国家但在同一个事业部下，就有自主添加有价格优势质量也有保证的供应商进来，既保证了产品的竞争力又保证产品交期而影响项目进度的问题。优化后的研发组织架构图见图 4-1，

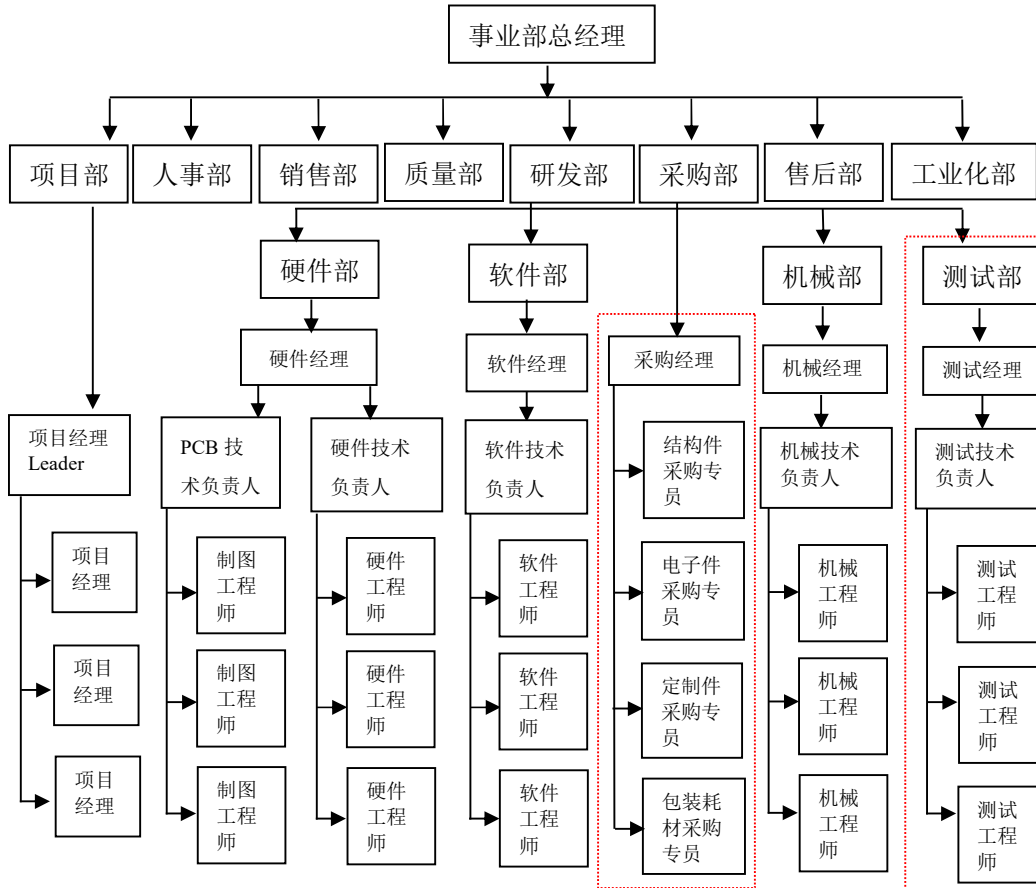


图 4-1 优化后的研发组织架构

注：红色方框为优化后成员

第五章 施耐德电气产品研发项目进度优化保障与实施

5.1 项目进度优化的保障措施

5.1.1 制度保障

(一) 制定研发项目进度管理优化方案的培训制度。

研发项目进度管理优化设计有针对性研发项目的成员在研发的每个阶段对优化后的项目计划安排、项目变更流程，工作绩效评定，项目设计和评审流程，活动持续时间、组织架构调整，工作内容及各成员工作职责进行重复、定期的培训和宣导^[26]。确保公司内部研发项目人员消化理解研发项目进度管理优化方案的具体内容。确保优化设计方案的成功实施提供保障。

(二) 制定研发项目进度绩效考核标准^[29]。

有助于研发贯彻落实项目进度计划优化方案，并通过正确的绩效填写、评价过程，加强研发团队对项目目标完成的重视度，强化中高层管理者的责任和目标意识，通过提高团队和员工工作绩效来提高工作积极性^[38]。

绩效激励：

(1) 考核与工资挂钩。

(2) 按季度考核一共四次，非季度考核月份的应发工资（含月度绩效工资）全部发放。季度考核月份的绩效工资，根据考核结果进行发放。

(3) 每季度考核结果与年度考核一起作为年终考核参考，与年终奖及下一年加薪幅度挂钩。

绩效权重（OA）设定标准如下表 5-1，

表 5-1 权重设置

| 任务类别 | 指标名称 | 权重 |
|------|--------------------|-----|
| KPI | 按绩效合同填写 | 40% |
| 团队管理 | 月底 PERT 图分解+月底任务评价 | 15% |
| | 项目内成员工作完成平均得分 | 15% |
| 关键任务 | 项目任务 | 20% |
| | 临时任务 | 10% |

绩效考核方式和内容：

(1) 项目经理每月末绘制下月项目任务工作 PERT 图，交项目管理部对照项目计划进行审核、确认后，由各部门经理根据 PERT 图内容完成《部门资源配置与

绩效考核表》。

(2) 月计划工时未满足人员，由部门经理进行部门任务分配并更新至《部门资源配置与绩效考核表》。

(3) 项目管理部每月初发布月度计划。

(4) 项目管理部参照《研发绩效考核标准及评价原则》及项目月报《项目偏差率》，在《研发三类员工绩效流程表》工作表填入基础数据。

(5) 被考核人下月初填写《研发员工绩效评价流程表》，填写本月计划任务、临时任务及各项任务的完成情况等。

(6) 部门经理收集《研发员工绩效评价流程表》并发送至评价人。

(7) 评价人根据绩效考核评分原则,对被考核人单项任务进行逐一打分。

(8) 部门经理整理《研发员工绩效评价流程表》，《部门员工成绩汇总表》、《部门员工季度奖惩项》，提交项目管理部备案

(9) 部门经理下季度提交本部门所有员工《部门员工季度成绩汇总表》、《部门员工季度奖惩项》，提交项目管理部备案。

(10) 项目管理部汇总研发各部门成绩，进行预排名。

(11) 研发总工程师进行绩效等级评定并反馈研发人资。

(12) 研发人资提交研发部绩效至绩效专员。评价关系如下表 5-2，

表 5-2 评价关系

| 评价人角色 | 项目任务审核人 | 项目任务评价人 | 部门任务评价人 | 团队管理任务评价人 |
|---------|---------|-----------------|---------|-----------|
| 工程师 | / | 部门经理/技术负责人/项目经理 | 部门经理 | / |
| 技术负责人 | / | 项目经理/部门经理 | 部门经理 | / |
| 项目经理 | 项目部经理 | 总工程师 | / | 总工程师 |
| 项目管理工程师 | / | 项目经理 | 部门经理 | / |
| 研发助理 | / | / | 部门经理 | / |
| 部门经理 | / | 项目经理 | 总工程师 | 总工程师 |
| 评价人角色 | 项目任务审核人 | 项目任务评价人 | 部门任务评价人 | 团队管理任务评价人 |
| 副总工程师 | / | / | 总工程师 | / |
| 实验室主任 | / | 项目经理 | 总工程师 | 总工程师 |

(13) 绩效考核评分原则

考核不跨月，当出现任务计划跨月时，考核时由部门、项目经理团队按任务完成百分比进行评审，完成评价如下表 5-3，

表 5-3 任务完成状态评分

| 任务完成状态 | | 得分 | 备注 |
|---------|------------|--------------------|------------------------------------|
| 类别 | 状态 | | |
| 完成 | 延期开始, 正常完成 | / | 91-100 |
| | 提前完成 | / | 91-100 |
| | 按时完成 | / | 90 |
| | 正常开始, 延期结束 | / | 0-85 根据延期天数确定, PDT 经理把控 |
| 未完成 | 开始延期或任务中断 | 工作周期/计划周期 > 应任务完成% | 0-70 下月工作 PERT 图, 根据上月完成量规划计划工期 |
| | | 工作周期/计划周期 < 应任务完成% | 70-100 |
| | 正常开始 | / | 0-70 |
| 战略暂停、取消 | / | / | 不考核, 但项目经理、部门经理需重新安排工作量 |

任务得分由任务完成状态评分构成, 具体得分对应等级及绩效系数如下表 5-4,

表 5-4 任务完成状态评分

| 得分 | 等级 | 季度任务完成绩效系数 |
|-------|----|------------|
| >90 | A | 1.3 |
| 80-89 | B | 1.2 |
| 70-79 | C | 1.1 |
| 60-69 | D | 1 |
| 60 以下 | E | 0.7-0.9 |

项目完成状态对项目完成进行评分如下表 5-5,

表 5-5 项目完成状态评分

| 项目完成状态 对比上月关键任务偏差工作日 (X) | 项目绩效系数 |
|-----------------------------|--------|
| $X < -5$ | 1.200 |
| $-5 \leq X < 0$ | 1.100 |
| $X = 0$ | 1.050 |
| $X = 1$ | 1.000 |
| $X = 2$ | 0.950 |
| $X \geq 3$ | 0.875 |

固定工作日基数：

部门经理参照固定工作日安排任务，当本月存在请假，固定工作日基数为除去请假后的固定工作日，否则，固定工作日基数为法定工作日。

(1) 计划投入人天>固定工作日基数，超过固定工作日部分的任务部门经理每月进行计划投入人天调整并将优先级低的任务调整至奖惩事项中，每个季度奖惩事项投入人天不超过 6，超过部分须安排至下季度任务中。

(2) 计划投入人天<固定工作日基数，部门经理安排临时任务补满。

绩效工资计算方式：

季度任务得分=（任务权重*单任务得分）/任务权重和+（奖惩事项投入人天*分数）/季度固定工作日

(1) 根据项目的完成情况对照表 5-4 查出项目绩效系数

(2) 个人项目任务得分=（单任务时间得分*单任务时间权重）*项目绩效系数

(3) 个人部门任务得分=单任务时间得分*单任务时间权重

(4) 个人奖惩事项季度得分=（奖惩事项投入人天*分数）/季度固定工作日

(5) 根据个人季度任务得分得出季度任务完成绩效系数

(6) 个人季度绩效工资是根据个人季度任务完成绩效系数计算出。

(7) 个人季度绩效工资=个人月度应发工资*（个人季度任务完成绩效系数-1）

举例如下表 5-6，

表 5-6 举例

| 员工姓名 | 月基本工资 | 任务类型 | 项目绩效系数 | 投入人天 | 单任务时间得分 | 单任务得分 | 季度任务得分 | 季度得分 | 季度绩效系数 | 季度绩效工资 | |
|------|-------|------------|--------|------|---------|--------|--------|------|--------|--------|----------|
| 甲 | 10000 | A 项目 | 0.950 | 12 | 80 | 76 | 75.06 | | | | |
| | | | 0.950 | 6 | 70 | 66.5 | | | | | |
| | | | 0.950 | 8 | 82 | 77.9 | | | | | |
| | | B 项目 | 0.875 | 7 | 85 | 74.375 | | | | | |
| | | | 0.875 | 4 | 85 | 74.375 | | | | | |
| | | C 项目 | 0.950 | 8 | 80 | 76 | | | | | |
| | | | 0.950 | 2 | 65 | 61.75 | | | | | |
| | | 部门任务 | / | 4 | 75 | 75 | | | | | |
| | | | / | 4 | 80 | 80 | | | | | |
| | | | / | 5 | 80 | 80 | | | | | |
| | | 奖惩项 A 项目任务 | 1.000 | 5 | 85 | 85 | | | | | 8.583333 |
| | | 奖惩部门任务 | / | 1 | 90 | 90 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

5.1.2 人员保障

人力资源的合理配置及公司领导、员工的大力支持也是项目进度管理优化的关键。得到管理层的支持，相关的优化进程才会事半功倍。项目进度管理优化不仅仅关系到项目组成员的工作，是从上而下的改进优化，需要公司每一个人的积极配合。只有这样，项目进度管理优化方案才能真正解决公司的困境。组建项目管理小组。专门负责项目管理的工作，收集项目资料，评估项目管理方案，汇总公司项目管理相关文件，对优化后的项目进度管理方案进行跟踪反馈^[27]。综合调度公司资源，合理进行分配，实时更新项目进度数据，监督控制项目组成员的执行状况，进行抽调检查。

5.1.3 技术保障

研发工程师除了完成项目工作之余，还需要完成部门技能提升的技术分享和项目中的学习分享，这样可以让部门员工吸取项目中的经验和教训从而快速成长。有些工程师认为只要在项目中完成项目工作就可以获得自身的技能成长，殊

不知技能的成长不仅需要经验的积累，更需要新知识的更新和储备，尤其是电子元件的技术更新变化之快，研发部门每年都会给工程师提供经费（书费，开发板，买仿真软件）去学习提升自身的技能来更好的胜任项目工作，另外，在项目中遇到的问题 and 解决方案以及在项目中犯过的错误也都是很好的经验教训，部门经理要定期组织研发工程师的技术交流，分享各项目中经验教训或者是学习分享，不光可以提升个人技能，也可以通过交流避免类似的问题出现在其他项目中导致项目延期。

5.2 项目进度管理优化的实施

施耐德电气公司产品研发项目进度管理优化方案可以采用自建的方式。在企业中组建项目优化小组，成员组领导必须是企业有丰富项目管理经验的项目经理^[16]。成员组领导通过研究和借鉴行业内领头企业的成功项目管理模式案例和学习国际先进的项目管理的知识和理论，结合自己企业的实际情况，也可以通过咨询公司来快速学习和有针对性的弥补公司在这项目管理方面的薄弱点，最后根据上一章的优化方案制定具体的优化措施。这里可以借鉴 PDCA（戴明环）循环步骤进行实施。

首先，根据优化方案拟定措施，制定实施计划。具体实施步骤需要制定计划表、各部门根据计划表进行实施。其次，根据方案内容制定责任表，是为项目的责任制定计划，具体落实到项目责任人，可以采用矩阵形式，列表示任务，行表示项目组成员，确保方案可以有效落地。再次，对实施小组成员进行培训，确保方案实施者明确优化重点和目标。最后，方案实施后，阶段性的成果表现需要评估和总结并及时反馈。对方案结果的评估结果持续改进和继续优化。

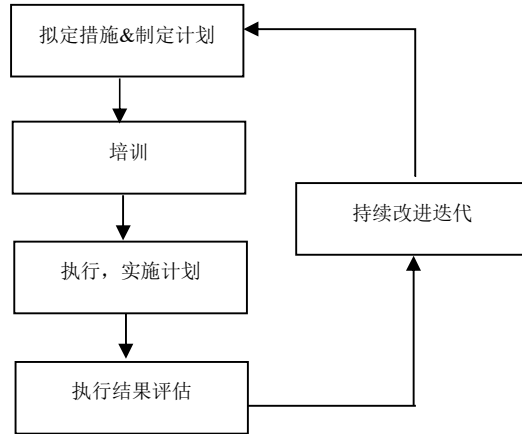


图 5-1 优化方案实施步骤

（一）拟定措施，制定计划

在对项目进度管理的优化方案实施措施前，需要对优化方案的实施步骤制定计划，有效的计划可以明确工作的方向和方法，会使得实施的过程有规范、有条不紊、更高效。并且在制定计划时，明确责任，落实任务，使整个项目优化实施过程有据可依，有章有序^[32]。如果在做之前不做好计划，由于方案实施中设计的部门和事情错综复杂，实施后就会混做一团，后续的评估和改进工作也会无法进展。

（二）项目组员培训

在明确以伺服驱动器产品项目为优化方案作为方案实施项目，在开工会之前，项目经理召集项目组内核心人员参加工作指导和培训。培训内容主要针对优化后的项目进度计划进行详细的讲解，明确新项目进度计划的工作内容及依赖关系，贯彻优化方案的目标和绩效考核方案。对有利于项目的组织架构调整的理解，加强员工技能的自我提高，责任分配矩阵的详细说明，数字化监控项目进度的软件技能培训等。

（三）执行实施计划

在培训方案完成后，在 2019 年项目启动会，伺服驱动器项目进行产品研发项目进度计划的编制、里程碑和评审日期的制定。伺服驱动器项目是对准目标是国内中高端品牌所开发的产品。根据合同要求，需要在 2020 年 12 月底前完成量产并且发布。根据项目的目标，运用优化后的进度管理方案执行伺服驱动器项目。

（四）执行结果评估

根据施耐德伺服驱动器项目试点的阶段性的实施结果，有针对性的评估，组织优化小组会议^[52]，聆听组员在项目优化中遇到的问题和困难，经过分析后项目团队领导给出指导性的意见和反馈。

（五）持续改进迭代

对施耐德伺服驱动器项目阶段性结果的不足之处，重新调整优化方案，调整实施计划，为最后优化方案的最优成果持续改进奠定基础。

第六章 结论与展望

6.1 研究结论

本文在搜集国内外学者在项目进度管理方面的成熟理论的基础上,对施耐德电气产品研发项目在进度延误的问题溯源,并运用项目进度管理的方法和工具给出了具体项目进度管理的优化措施方案,并希望在伺服驱动器产品研发项目上加以实施并给出具体的保障和实施步骤,在论文研究中归纳和总结出以下结论:

- (1) 项目活动之间逻辑关系尤其是关键链的活动逻辑关系及关键活动的持续时间设置,是项目经理和项目管理执行人员在执行阶段需要密切关注的。
- (2) 关键链管理技术在关键路径和 PERT 技术的发展后逐渐产生,但在实际产品研发项目中并未广泛推广,对于产品研发项目,受人为因素,资源不足等影响项目进度的案例比比皆是,对于今后的推广尤为重要。
- (3) 伺服驱动器产品研发项目在引入关键链管理技术后,既可以大幅压缩项目工期进度,又可以降低延误风险,还可以将资源高效合理利用。
- (4) 项目经理和项目管理执行人员可以定期监控缓冲区的消耗来精准判断项目进度状态,可以提前预判项目延期风险并提前采取措施,确保项目顺利完成。

综上所述,将关键链管理技术运用到产品研发项目中可以确保工期的顺利进行和使资源使用效率的达到最大化,使项目经理和项目中参与管理的成员可以更好地完成项目进度计划的编制和监控项目实施过程的进度。

6.2 研究展望

(一) 随着全球工业化转型升级的不断推进,一方面科学技术和制造业创新结合的更加紧密,另一方面工业化和信息产业继续深度融合,未来工业的投资必将会要求继续强化制造业基础零部件,关键核心技术。因此缩短高端工业产品研发项目周期变得尤为重要,能把关键链技术引入整个工业化产品研发项目中,那么资源的利用效率则会大幅度提高,研发项目生命周期会大大缩短。

(二) 对于产品研发项目进度管理涉猎的内容,知识,工具和方法众多,由于研究时间受限以及项目管理专业知识理论掌握深度不够,加上本人目前项目管理经验和项目管理水平仍旧欠缺还有待提高的原因。当前本文在对项目进度管理上出现的延误问题研究和分析上,仅仅是在单项目中受资源约束的条件下,对

不同活动之间的项目进度管理进行规划。对于资源约束的多项目进度规划尚未涉及。所以在行业指导中具有一定的局限性。各企业要结合自身企业实际情况具体分析，做好相应的改善策略。希望在未来的工作中，能够更加深入地研究和学习关键链技术，将关键链技术引入到多项目进度规划中，这会是未来企业在进度管理上的重要趋势。

参考文献

- [1] 中国制造 2025: 核心是向中高端提升[R].<https://www.miit.gov.cn>,2015.
- [2] 《施耐德、西门子、GE、ABB 四大电气巨头发布最新财报, 工业自动化业务承压》- 变频器世界 -2019.
- [3] 白思俊. 现代项目管理概论[M]. 北京:电子工业出版社, 2006: 2-9
- [4] 中国工控网 <http://www.gongkong.com/>
- [5] (美)项目管理协会著.项目管理知识体系指南(第六版)[M]. 中国工信出版集团, 电子工业出版社, 2018
- [6] 左超红刘斌等编著, Project 项目管理[M]. 北京, 机械工业出版社, 2008.5
- [7] 周三多、陈传明、贾良定.《管理学—原理与方法》(第六版) [M].复旦大学出版社,2014.
- [8] 德.德鲁克(美国).《管理的实践》 [M].机械工业出版社,2009
- [9] 黄玉贤.产品生命周期管理系统在 EQ 公司的实施研究[D].北京交通大学,2018.
- [10] 刘群喜.V 公司产品研发流程的优化设计[D].北京交通大学,2017.
- [11] (加)罗伯特·G.库柏(RobertG. Cooper).开发流程管理[M].机械工业出版社,2003.
- [12] 郭息林. 蔚来汽车产品开发流程优化研究[D]. 兰州大学, 2017.
- [13] 徐颂,黄文.里程碑控制在研发项目进度管理中的应用[J].项目管理技术,2011,9(05):86-90.
- [14] 刘彦亭.多资源约束下的关键链管理研究 [J].内蒙古科技与经济,2017,2017(01):26-28
- [15] 徐颂,黄文.里程碑控制在研发项目进度管理中的应用[J].项目管理技术,2011,9(05):86-90.
- [16] 周炜炜,刘薇.企业内部控制基本理论问题研究[J].现代商业,2018(33):96-98.
- [17] 夏炎.基于产品数据管理的项目管理方法[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2017(10):20-21.
- [18] 张伟梁,任璟.项目进度管理中 CPM、PERT 和 CCPM 的比较研究[J].中国高新技术企业,2011(04):136-137.
- [19] 徐哲,王黎黎.基于关键链技术的项目进度管理研究综述[J].北京航空航天大学学报(社会科学版), 2011.
- [20] 胡雪杰.一种基于军工科研项目管理的新技术[J].兵工自动化,2019,38(09):11-12+21
- [21] 葛璠.现代产品开发项目管理理论与实践的研究综述[J].产业与科技论坛,2014,13(20):98-99.
- [22] 崔爽.基于关键链技术资源约束下项目调度应用研究[D].华北电力大学,2015.
- [23] 丁锐.项目管理理论综述[J].合作经济与科技, 2009.
- [24] 刘志龙.M 公司新产品研发的多项目进度管理: 关键链方法[D].厦门大学,2018.
- [25] 陈用益.S 公司项目管理流程优化研究 [D]. 电子科技大学, 2018.
- [26] 水藏玺. 流程优化与再造: 实践·实务·实例 (第 2 版)[M]. 北京: 中国经济出版社, 2011.
- [27] 张保忠.基于协同理念的项目进度管理多目标优化研究[J].中国制造业信息化,2008(17):14-17.
- [28] 潘广钦.项目进度管理中 CPM、PERT 和 CCPM 的比较研究[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2014(11):57-58.
- [29] 史永亮.CH 公司基于 IPD 流程的新产品开发项目管理研究[D].电子科技大学,2013.
- [30] 李俊亭.关键链项目进度控制技术综合分析研究[J].工程管理学报,2015,29(06):129-133.

- [31] 唐为建. XY 公司新产品开发项目进度管理研究[D]. 吉林大学,2018.
- [32] 贺超斌. S 公司 LWP 研发项目进度管理研究[D]. 华南理工大学,2020. 钟列. 机载空管雷达产品研发项目进度管理研究[D]. 电子科技大学,2020.
- [33] 王红丹. 基于关键链技术的 SQXX 开发项目进度管理研究[D]. 山东大学,2020.
- [34] 张雍蓉. 基于关键链技术的汽车花键轴研发项目进度管理优化[D]. 兰州大学,2020.
- [35] 徐滨. 西屋制动公司出口项目进度管理优化研究[D]. 兰州大学,2019.
- [36] 张凯钧,夏叶津,孙嵘. 探究关键链在手机研发项目进度管理中的应用[J]. 数字通信世界,2020(07):183+191.
- [37] 张雨. Z 公司光传输产品研发项目进度管理优化研究[D]. 北京交通大学,2020.
- [38] 吴先林,王洪超,李璐俊. 基于关键链技术在座椅项目进度管理中的应用研究[J]. 价值工程,2019,38(07):75-78.
- [39] 陈丰. 基于关键链法的 H 通信工程项目进度管理和仿真研究[D]. 暨南大学,2018.
- [40] 李施政. 关键链法在项目进度管理中的应用[J]. 企业技术开发,2018,37(01):120-122.
- [41] 王翔. 蒙特卡洛仿真在 TD-SCDMA 数据网管项目进度管理中的应用[D]. 上海交通大学,2008.
- [42] 牛盛凯. 基于关键链的 A 所军品项目进度管理研究[D]. 北京理工大学,2016.
- [43] Goto Hiroyuki, Murray Alan T.. Exact and flexible solution approach to a critical chain project management problem[J]. Constraints,2020,25(3-4).
- [44] Chao Hui Wang, Jun Lu. The Risk Management Method for Project Schedule of Aerospace Engineering[J]. Advanced Materials Research,2013,2450.
- [45] K. Chandrashekhar Iyer, Partha S. Banerjee. Project ambidexterity: case of recovering schedule delay in a brownfield airport project in India[J]. Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal. 2016.
- [46] Osama Moselhi, Nazila Roofigari-Esfahan. Project schedule compression: a multi-objective methodology[J]. Construction Innovation,2013,13(4).
- [47] Youyuan Wang, Xueqin Xiao, Yu Zhou. Research on Service Mode of Auto Parts Technology Innovation Based on the Industrial Chain[P]. Proceedings of the 21st International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2014,2015.
- [48] Veronika Hartmann, Tom Lahmer, Kay Smarsly. Project scheduling under uncertainty and resource constraints[J]. PAMM,2017,17(1).
- [49] Parviz Ghoddousi, Ramin Ansari, Ahmad Makui. A risk-oriented buffer allocation model based on critical chain project management[J]. KSCE Journal of Civil Engineering,2017,21(5).
- [50] Krystyna Araszkievicz. Application of Critical Chain Management in Construction Projects Schedules in a Multi-Project Environment: A Case Study[J]. Procedia Engineering,2017,182.
- [51] Unai Apaolaza, Aitor Lizarralde. Managing Multiple Projects in Uncertain Contexts: A Case Study on the Application of a New Approach Based on the Critical Chain Method[J]. Sustainability,2020,12(15).
- [52] Guodong Zhang. Research on Progress Management and Optimization of Gluing Project in G Automobile Manufactory[J]. Scientific Journal of Economics and Management Research,2020,2(3).

附录 A

表 A1 优化后的研发项目 WBS 表 1-33

| 序号 | WBS | 任务名称 | 工期 | 开始时间 | 结束时间 |
|----|--------------|--------------|---------|------------------|------------------|
| 1 | 1 | 低压全新产品计划模板 | 309 工作日 | 2019 年 6 月 17 日 | 2020 年 8 月 20 日 |
| 2 | 1.1 | 概念阶段 | 23 工作日 | 2019 年 6 月 17 日 | 2019 年 7 月 17 日 |
| 3 | 1.2 | 计划阶段 | 65 工作日 | 2019 年 6 月 17 日 | 2019 年 9 月 13 日 |
| 4 | 1.3 | 开发阶段 | 212 工作日 | 2019 年 6 月 17 日 | 2020 年 4 月 7 日 |
| 5 | 1.3.1 | 开发样机 | 143 工作日 | 2019 年 6 月 17 日 | 2020 年 1 月 1 日 |
| 6 | 1.3.1.1 | 物料管理 | 15 工作日 | 2019 年 8 月 29 日 | 2019 年 9 月 18 日 |
| 7 | 1.3.1.1.1 | 启动新器件认证 | 10 工作日 | 2019 年 8 月 29 日 | 2019 年 9 月 11 日 |
| 8 | 1.3.1.1.2 | 新器件测试 | 2 工作日 | 2019 年 9 月 16 日 | 2019 年 9 月 17 日 |
| 9 | 1.3.1.1.3 | 新器件测试定制件单体认证 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 18 日 | 2019 年 9 月 18 日 |
| 10 | 1.3.1.1.4 | 更新初始器件与供应商选择 | 4 工作日 | 2019 年 8 月 29 日 | 2019 年 9 月 3 日 |
| 11 | 1.3.1.1.5 | 物料可采购性评估 | 4 工作日 | 2019 年 8 月 29 日 | 2019 年 9 月 3 日 |
| 12 | 1.3.1.2 | 结构设计 | 43 工作日 | 2019 年 9 月 2 日 | 2019 年 10 月 30 日 |
| 13 | 1.3.1.2.1 | 结构详细设计 | 11 工作日 | 2019 年 9 月 2 日 | 2019 年 9 月 16 日 |
| 14 | 1.3.1.2.2 | 结构详细设计需求跟踪 | 3 工作日 | 2019 年 9 月 17 日 | 2019 年 9 月 19 日 |
| 15 | 1.3.1.2.3 | 结构评审 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 20 日 | 2019 年 9 月 20 日 |
| 16 | 1.3.1.2.4 | 评审后优化 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 23 日 | 2019 年 9 月 23 日 |
| 17 | 1.3.1.2.5 | 结构出图 | 5 工作日 | 2019 年 9 月 24 日 | 2019 年 9 月 30 日 |
| 18 | 1.3.1.2.6 | 结构外协加工打样 | 22 工作日 | 2019 年 10 月 1 日 | 2019 年 10 月 30 日 |
| 19 | 1.3.1.3 | 硬件设计 | 46 工作日 | 2019 年 9 月 2 日 | 2019 年 11 月 4 日 |
| 20 | 1.3.1.3.1 | XXX 板 | 46 工作日 | 2019 年 9 月 2 日 | 2019 年 11 月 4 日 |
| 21 | 1.3.1.3.1.1 | 原理图设计 | 14 工作日 | 2019 年 9 月 2 日 | 2019 年 9 月 19 日 |
| 22 | 1.3.1.3.1.2 | 原理图评审 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 20 日 | 2019 年 9 月 20 日 |
| 23 | 1.3.1.3.1.3 | 硬件详细设计需求跟踪 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 20 日 | 2019 年 9 月 20 日 |
| 24 | 1.3.1.3.1.4 | 器件检视 | 2 工作日 | 2019 年 9 月 20 日 | 2019 年 9 月 23 日 |
| 25 | 1.3.1.3.1.5 | 原理图评审后修改 | 2 工作日 | 2019 年 9 月 23 日 | 2019 年 9 月 24 日 |
| 26 | 1.3.1.3.1.6 | PCB 布局 | 2 工作日 | 2019 年 9 月 25 日 | 2019 年 9 月 26 日 |
| 27 | 1.3.1.3.1.7 | PCB 设计 | 4 工作日 | 2019 年 9 月 27 日 | 2019 年 10 月 2 日 |
| 28 | 1.3.1.3.1.8 | PCB 评审 | 1 工作日 | 2019 年 10 月 3 日 | 2019 年 10 月 3 日 |
| 29 | 1.3.1.3.1.9 | PCB 评审后更改 | 2 工作日 | 2019 年 10 月 4 日 | 2019 年 10 月 7 日 |
| 30 | 1.3.1.3.1.10 | PCB 外协加工 | 7 工作日 | 2019 年 10 月 8 日 | 2019 年 10 月 16 日 |
| 31 | 1.3.1.3.1.11 | 单板 BOM 制作 | 2 工作日 | 2019 年 10 月 17 日 | 2019 年 10 月 18 日 |
| 32 | 1.3.1.3.1.12 | 单板领料 | 1 工作日 | 2019 年 10 月 8 日 | 2019 年 10 月 8 日 |
| 33 | 1.3.1.3.1.13 | 单板焊接 | 5 工作日 | 2019 年 10 月 17 日 | 2019 年 10 月 23 日 |

表 A2 优化后的研发项目 WBS 表 34-72

| 序号 | WBS | 任务名称 | 工期 | 开始时间 | 结束时间 |
|----|--------------|--------------|--------|------------------|------------------|
| 34 | 1.3.1.3.1.14 | 单板调试 | 3 工作日 | 2019 年 10 月 24 日 | 2019 年 10 月 28 日 |
| 35 | 1.3.1.3.1.15 | 控制板单板自测 | 2 工作日 | 2019 年 10 月 29 日 | 2019 年 10 月 30 日 |
| 36 | 1.3.1.3.1.16 | 控制板单板测试 | 3 工作日 | 2019 年 10 月 31 日 | 2019 年 11 月 4 日 |
| 37 | 1.3.1.4 | 软件设计 | 38 工作日 | 2019 年 9 月 2 日 | 2019 年 10 月 23 日 |
| 38 | 1.3.1.4.1 | XX1 模块详细设计 | 10 工作日 | 2019 年 9 月 2 日 | 2019 年 9 月 13 日 |
| 39 | 1.3.1.4.2 | XX2 模块详细设计 | 10 工作日 | 2019 年 9 月 2 日 | 2019 年 9 月 13 日 |
| 40 | 1.3.1.4.3 | 软件需求跟踪 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 16 日 | 2019 年 9 月 16 日 |
| 41 | 1.3.1.4.4 | 软件详细设计评审 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 17 日 | 2019 年 9 月 17 日 |
| 42 | 1.3.1.4.5 | XX1 模块编码 | 5 工作日 | 2019 年 9 月 18 日 | 2019 年 9 月 24 日 |
| 43 | 1.3.1.4.6 | XX2 模块编码 | 5 工作日 | 2019 年 9 月 18 日 | 2019 年 9 月 24 日 |
| 44 | 1.3.1.4.7 | 代码评审 | 1 工作日 | 2019 年 9 月 25 日 | 2019 年 9 月 25 日 |
| 45 | 1.3.1.4.8 | 单板软件调试 | 3 工作日 | 2019 年 9 月 26 日 | 2019 年 9 月 30 日 |
| 46 | 1.3.1.4.9 | 软件功能自测调试 | 3 工作日 | 2019 年 10 月 1 日 | 2019 年 10 月 3 日 |
| 47 | 1.3.1.4.10 | 系统联调 | 7 工作日 | 2019 年 10 月 4 日 | 2019 年 10 月 14 日 |
| 48 | 1.3.1.4.11 | 系统自测 | 7 工作日 | 2019 年 10 月 15 日 | 2019 年 10 月 23 日 |
| 49 | 1.3.1.5 | 电气设计 | 7 工作日 | 2019 年 6 月 17 日 | 2019 年 6 月 25 日 |
| 50 | 1.3.1.5.1 | 电气图纸设计 | 5 工作日 | 2019 年 6 月 17 日 | 2019 年 6 月 21 日 |
| 51 | 1.3.1.5.2 | 线缆设计, 配线工艺设计 | 2 工作日 | 2019 年 6 月 24 日 | 2019 年 6 月 25 日 |
| 52 | 1.3.1.6 | 开发样机装配 | 19 工作日 | 2019 年 10 月 21 日 | 2019 年 11 月 14 日 |
| 53 | 1.3.1.6.1 | 整合产品 BOM(整机) | 3 工作日 | 2019 年 10 月 21 日 | 2019 年 10 月 23 日 |
| 54 | 1.3.1.6.2 | 整机领料 | 2 工作日 | 2019 年 10 月 24 日 | 2019 年 10 月 25 日 |
| 55 | 1.3.1.6.3 | 开发样机装配 | 3 工作日 | 2019 年 11 月 5 日 | 2019 年 11 月 7 日 |
| 56 | 1.3.1.6.4 | 输出开发样机装配报告 | 1 工作日 | 2019 年 11 月 8 日 | 2019 年 11 月 8 日 |
| 57 | 1.3.1.6.5 | 整机工艺评审 | 1 工作日 | 2019 年 11 月 11 日 | 2019 年 11 月 11 日 |
| 58 | 1.3.1.6.6 | 整机联调 | 3 工作日 | 2019 年 11 月 8 日 | 2019 年 11 月 12 日 |
| 59 | 1.3.1.6.7 | 整机自测 | 2 工作日 | 2019 年 11 月 13 日 | 2019 年 11 月 14 日 |
| 60 | 1.3.1.7 | 整机测试 | 23 工作日 | 2019 年 11 月 13 日 | 2019 年 12 月 13 日 |
| 61 | 1.3.1.7.1 | 软件测试 | 10 工作日 | 2019 年 11 月 15 日 | 2019 年 11 月 28 日 |
| 62 | 1.3.1.7.2 | 温升测试 | 2 工作日 | 2019 年 11 月 15 日 | 2019 年 11 月 18 日 |
| 63 | 1.3.1.7.3 | 开发样机安规测试 | 7 工作日 | 2019 年 11 月 19 日 | 2019 年 11 月 27 日 |
| 64 | 1.3.1.7.4 | 开发样机 EMC 测试 | 7 工作日 | 2019 年 11 月 13 日 | 2019 年 11 月 21 日 |
| 65 | 1.3.1.7.5 | 开发样机整机电性能测试 | 8 工作日 | 2019 年 11 月 19 日 | 2019 年 11 月 28 日 |
| 66 | 1.3.1.7.6 | 开发样机环境测试 | 7 工作日 | 2019 年 11 月 22 日 | 2019 年 12 月 2 日 |
| 67 | 1.3.1.7.7 | 开发样机机械振动 | 2 工作日 | 2019 年 12 月 3 日 | 2019 年 12 月 4 日 |
| 68 | 1.3.1.7.8 | 测试问题解决 | 5 工作日 | 2019 年 12 月 5 日 | 2019 年 12 月 11 日 |
| 69 | 1.3.1.7.9 | 开发样机硬件需求跟踪测试 | 1 工作日 | 2019 年 12 月 5 日 | 2019 年 12 月 5 日 |
| 70 | 1.3.1.7.10 | 开发样机软件需求跟踪测试 | 1 工作日 | 2019 年 12 月 5 日 | 2019 年 12 月 5 日 |
| 71 | 1.3.1.7.11 | 开发样机结构需求跟踪测试 | 1 工作日 | 2019 年 12 月 5 日 | 2019 年 12 月 5 日 |
| 72 | 1.3.1.7.12 | 开发样机测试报告编写 | 2 工作日 | 2019 年 12 月 5 日 | 2019 年 12 月 6 日 |

表 A3 优化后的研发项目 WBS 表 73-111

| 序号 | WBS | 任务名称 | 工期 | 开始时间 | 结束时间 |
|-----|-------------|------------------|--------|------------------|------------------|
| 73 | 1.3.1.7.13 | 开发样机测试报告评审 | 1 工作日 | 2019 年 12 月 12 日 | 2019 年 12 月 12 日 |
| 74 | 1.3.1.7.14 | 测试报告归档 | 1 工作日 | 2019 年 12 月 13 日 | 2019 年 12 月 13 日 |
| 75 | 1.3.1.8 | TR4, 开发样机评审 | 15 工作日 | 2019 年 12 月 12 日 | 2020 年 1 月 1 日 |
| 76 | 1.3.1.8.1 | 开发样机料本分析 | 10 工作日 | 2019 年 12 月 12 日 | 2019 年 12 月 25 日 |
| 77 | 1.3.1.8.2 | 准备 TR4 评审及分发评审材料 | 1 工作日 | 2019 年 12 月 26 日 | 2019 年 12 月 26 日 |
| 78 | 1.3.1.8.3 | 材料预读 | 1 工作日 | 2019 年 12 月 27 日 | 2019 年 12 月 27 日 |
| 79 | 1.3.1.8.4 | 问题沟通 | 1 工作日 | 2019 年 12 月 30 日 | 2019 年 12 月 30 日 |
| 80 | 1.3.1.8.5 | 举行 TR4 评审会 | 1 工作日 | 2019 年 12 月 31 日 | 2019 年 12 月 31 日 |
| 81 | 1.3.1.8.6 | 资料归档 | 1 工作日 | 2020 年 1 月 1 日 | 2020 年 1 月 1 日 |
| 82 | 1.3.1.9 | 工艺设计 | 55 工作日 | 2019 年 9 月 23 日 | 2019 年 12 月 6 日 |
| 83 | 1.3.1.9.1 | 单板工艺 | 4 工作日 | 2019 年 9 月 23 日 | 2019 年 9 月 26 日 |
| 84 | 1.3.1.9.1.1 | XXXX 板 PCBA 工艺分析 | 4 工作日 | 2019 年 9 月 23 日 | 2019 年 9 月 26 日 |
| 85 | 1.3.1.9.2 | 整机工艺 | 49 工作日 | 2019 年 10 月 1 日 | 2019 年 12 月 6 日 |
| 86 | 1.3.1.9.2.1 | 结构装配工艺(初稿) | 2 工作日 | 2019 年 10 月 1 日 | 2019 年 10 月 2 日 |
| 87 | 1.3.1.9.2.2 | 装配工艺指导书(初稿) | 2 工作日 | 2019 年 10 月 3 日 | 2019 年 10 月 4 日 |
| 88 | 1.3.1.9.2.3 | 整机调测工艺(初稿) | 1 工作日 | 2019 年 12 月 5 日 | 2019 年 12 月 5 日 |
| 89 | 1.3.1.9.2.4 | 软件烧录工艺文件(初稿) | 1 工作日 | 2019 年 12 月 6 日 | 2019 年 12 月 6 日 |
| 90 | 1.3.2 | 工程样机 | 82 工作日 | 2019 年 12 月 16 日 | 2020 年 4 月 7 日 |
| 91 | 1.3.2.1 | 结构优化 | 69 工作日 | 2019 年 12 月 16 日 | 2020 年 3 月 19 日 |
| 92 | 1.3.2.1.1 | 结构设计优化 | 6 工作日 | 2019 年 12 月 16 日 | 2019 年 12 月 23 日 |
| 93 | 1.3.2.1.2 | 结构评审 | 1 工作日 | 2019 年 12 月 24 日 | 2019 年 12 月 24 日 |
| 94 | 1.3.2.1.3 | 评审后优化 | 2 工作日 | 2019 年 12 月 25 日 | 2019 年 12 月 26 日 |
| 95 | 1.3.2.1.4 | 结构出图 | 2 工作日 | 2019 年 12 月 27 日 | 2019 年 12 月 30 日 |
| 96 | 1.3.2.1.5 | 结构开模 | 35 工作日 | 2019 年 12 月 31 日 | 2020 年 2 月 17 日 |
| 97 | 1.3.2.1.6 | 结构修模 | 15 工作日 | 2020 年 2 月 28 日 | 2020 年 3 月 19 日 |
| 98 | 1.3.2.1.7 | 结构件/标准件外协加工 | 5 工作日 | 2020 年 2 月 18 日 | 2020 年 2 月 24 日 |
| 99 | 1.3.2.1.7.1 | 输出结构 BOM(定稿)及存档 | 1 工作日 | 2020 年 2 月 18 日 | 2020 年 2 月 18 日 |
| 100 | 1.3.2.1.7.2 | 结构件/标准件交期跟催及回司 | 3 工作日 | 2020 年 2 月 19 日 | 2020 年 2 月 21 日 |
| 101 | 1.3.2.1.7.3 | 结构件/标准件发料 7 套 | 1 工作日 | 2020 年 2 月 24 日 | 2020 年 2 月 24 日 |
| 102 | 1.3.2.2 | 硬件优化 | 30 工作日 | 2020 年 1 月 1 日 | 2020 年 2 月 11 日 |
| 103 | 1.3.2.2.1 | XXX 板优化 | 30 工作日 | 2020 年 1 月 1 日 | 2020 年 2 月 11 日 |
| 104 | 1.3.2.2.1.1 | 原理图优化 | 3 工作日 | 2020 年 1 月 1 日 | 2020 年 1 月 3 日 |
| 105 | 1.3.2.2.1.2 | 原理图评审 | 1 工作日 | 2020 年 1 月 6 日 | 2020 年 1 月 6 日 |
| 106 | 1.3.2.2.1.3 | 原理图评审后修改 | 1 工作日 | 2020 年 1 月 7 日 | 2020 年 1 月 7 日 |
| 107 | 1.3.2.2.1.4 | PCB 优化 | 2 工作日 | 2020 年 1 月 8 日 | 2020 年 1 月 9 日 |
| 108 | 1.3.2.2.1.5 | PCB 评审 | 1 工作日 | 2020 年 1 月 10 日 | 2020 年 1 月 10 日 |
| 109 | 1.3.2.2.1.6 | PCB 评审后更改 | 1 工作日 | 2020 年 1 月 13 日 | 2020 年 1 月 13 日 |
| 110 | 1.3.2.2.1.7 | PCB 外协加工 | 7 工作日 | 2020 年 1 月 14 日 | 2020 年 1 月 22 日 |
| 111 | 1.3.2.2.1.8 | 单板 BOM 制作 | 3 工作日 | 2020 年 1 月 8 日 | 2020 年 1 月 10 日 |

表 A4 优化后的研发项目 WBS 表 112-148

| | | | | | |
|-----|--------------|------------------|--------|------------------|------------------|
| 112 | 1.3.2.2.1.9 | 单板领料 | 2 工作日 | 2020 年 1 月 13 日 | 2020 年 1 月 14 日 |
| 113 | 1.3.2.2.1.10 | 单板焊接 | 7 工作日 | 2020 年 1 月 23 日 | 2020 年 1 月 31 日 |
| 114 | 1.3.2.2.1.11 | 单板调试 | 3 工作日 | 2020 年 2 月 3 日 | 2020 年 2 月 5 日 |
| 115 | 1.3.2.2.1.12 | 单板自测 | 2 工作日 | 2020 年 2 月 6 日 | 2020 年 2 月 7 日 |
| 116 | 1.3.2.2.1.13 | 单板测试 | 2 工作日 | 2020 年 2 月 10 日 | 2020 年 2 月 11 日 |
| 117 | 1.3.2.3 | 软件优化 | 12 工作日 | 2019 年 12 月 16 日 | 2019 年 12 月 31 日 |
| 118 | 1.3.2.3.1 | DSP 优化 | 5 工作日 | 2019 年 12 月 16 日 | 2019 年 12 月 20 日 |
| 119 | 1.3.2.3.2 | 软件调试 | 7 工作日 | 2019 年 12 月 23 日 | 2019 年 12 月 31 日 |
| 120 | 1.3.2.4 | 整机包装设计 | 13 工作日 | 2019 年 12 月 31 日 | 2020 年 1 月 16 日 |
| 121 | 1.3.2.4.1 | 设计丝印铭牌、标签等 | 3 工作日 | 2019 年 12 月 31 日 | 2020 年 1 月 2 日 |
| 122 | 1.3.2.4.2 | 包材设计评审 | 1 工作日 | 2020 年 1 月 3 日 | 2020 年 1 月 3 日 |
| 123 | 1.3.2.4.3 | 包材外协加工 | 8 工作日 | 2020 年 1 月 6 日 | 2020 年 1 月 15 日 |
| 124 | 1.3.2.4.4 | 包材资料归档 | 1 工作日 | 2020 年 1 月 16 日 | 2020 年 1 月 16 日 |
| 125 | 1.3.2.5 | 工程样机装配 | 8 工作日 | 2020 年 2 月 18 日 | 2020 年 2 月 27 日 |
| 126 | 1.3.2.5.1 | 整合产品 BOM(整机) | 3 工作日 | 2020 年 2 月 19 日 | 2020 年 2 月 21 日 |
| 127 | 1.3.2.5.2 | 整机领料 | 1 工作日 | 2020 年 2 月 24 日 | 2020 年 2 月 24 日 |
| 128 | 1.3.2.5.3 | 工程样机装配 | 6 工作日 | 2020 年 2 月 18 日 | 2020 年 2 月 25 日 |
| 129 | 1.3.2.5.4 | 输出工程样机装配报告 | 1 工作日 | 2020 年 2 月 26 日 | 2020 年 2 月 26 日 |
| 130 | 1.3.2.5.5 | 整机工艺评审 | 1 工作日 | 2020 年 2 月 27 日 | 2020 年 2 月 27 日 |
| 131 | 1.3.2.6 | 工程整机测试 | 16 工作日 | 2020 年 2 月 26 日 | 2020 年 3 月 18 日 |
| 132 | 1.3.2.6.1 | 温升测试 | 2 工作日 | 2020 年 2 月 26 日 | 2020 年 2 月 27 日 |
| 133 | 1.3.2.6.2 | 安规测试 | 5 工作日 | 2020 年 2 月 28 日 | 2020 年 3 月 5 日 |
| 134 | 1.3.2.6.3 | EMC 测试 | 5 工作日 | 2020 年 2 月 26 日 | 2020 年 3 月 3 日 |
| 135 | 1.3.2.6.4 | 整机电性能测试 | 8 工作日 | 2020 年 2 月 28 日 | 2020 年 3 月 10 日 |
| 136 | 1.3.2.6.5 | 环境测试 | 7 工作日 | 2020 年 3 月 4 日 | 2020 年 3 月 12 日 |
| 137 | 1.3.2.6.6 | 机械振动 | 2 工作日 | 2020 年 3 月 11 日 | 2020 年 3 月 12 日 |
| 138 | 1.3.2.6.7 | 测试问题解决 | 2 工作日 | 2020 年 3 月 13 日 | 2020 年 3 月 16 日 |
| 139 | 1.3.2.6.8 | 工程样机硬件需求跟踪 测试 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 13 日 | 2020 年 3 月 13 日 |
| 140 | 1.3.2.6.9 | 工程样机软件需求跟踪 测试 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 13 日 | 2020 年 3 月 13 日 |
| 141 | 1.3.2.6.10 | 工程样机结构需求跟踪 测试 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 13 日 | 2020 年 3 月 13 日 |
| 142 | 1.3.2.6.11 | 测试报告编写 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 13 日 | 2020 年 3 月 13 日 |
| 143 | 1.3.2.6.12 | 测试报告评审 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 17 日 |
| 144 | 1.3.2.6.13 | 测试报告归档 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 18 日 | 2020 年 3 月 18 日 |
| 145 | 1.3.2.7 | 中试测试 | 5 工作日 | 2020 年 2 月 28 日 | 2020 年 3 月 5 日 |
| 146 | 1.3.2.7.1 | 制定中试培训方案 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 4 日 | 2020 年 3 月 4 日 |
| 147 | 1.3.2.7.2 | 工程样机中试验证 | 3 工作日 | 2020 年 2 月 28 日 | 2020 年 3 月 3 日 |
| 148 | 1.3.2.7.3 | 可维护性验证 | 2 工作日 | 2020 年 3 月 4 日 | 2020 年 3 月 5 日 |

表 A5 优化后的研发项目 WBS 表 149-182

| | | | | | |
|-----|------------|------------------------|--------|-----------------|-----------------|
| 149 | 1.3.2.8 | 电气工艺优化 | 2 工作日 | 2020 年 3 月 6 日 | 2020 年 3 月 9 日 |
| 150 | 1.3.2.8.1 | 优化配线作业指导书 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 6 日 | 2020 年 3 月 6 日 |
| 151 | 1.3.2.8.2 | 优化客户资料清单 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 9 日 | 2020 年 3 月 9 日 |
| 152 | 1.3.2.9 | 单板工艺优化 | 6 工作日 | 2020 年 1 月 6 日 | 2020 年 1 月 13 日 |
| 153 | 1.3.2.9.1 | 优化 XXX 板工艺指导书 | 2 工作日 | 2020 年 1 月 6 日 | 2020 年 1 月 7 日 |
| 154 | 1.3.2.9.2 | XXX 板 PCBA 工艺分析报告 | 2 工作日 | 2020 年 1 月 8 日 | 2020 年 1 月 9 日 |
| 155 | 1.3.2.9.3 | 外协加工工艺说明 | 1 工作日 | 2020 年 1 月 10 日 | 2020 年 1 月 10 日 |
| 156 | 1.3.2.9.4 | 成品板加工作业指导书 | 1 工作日 | 2020 年 1 月 13 日 | 2020 年 1 月 13 日 |
| 157 | 1.3.2.10 | 整机工艺优化 | 16 工作日 | 2020 年 2 月 26 日 | 2020 年 3 月 18 日 |
| 158 | 1.3.2.10.1 | 输出辅料清单\输出标准 工时表 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 18 日 | 2020 年 3 月 18 日 |
| 159 | 1.3.2.10.2 | 优化结构装配工艺\优化 装配工艺指导书 | 2 工作日 | 2020 年 2 月 26 日 | 2020 年 2 月 27 日 |
| 160 | 1.3.2.10.3 | 输出包装作业指导书\输 出运输说明 | 1 工作日 | 2020 年 2 月 28 日 | 2020 年 2 月 28 日 |
| 161 | 1.3.2.10.4 | 优化整机调测作业指导 书 | 2 工作日 | 2020 年 3 月 13 日 | 2020 年 3 月 16 日 |
| 162 | 1.3.2.10.5 | 优化软件烧录作业指导 书 | 2 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 18 日 |
| 163 | 1.3.2.11 | 装备设计优化 | 3 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 19 日 |
| 164 | 1.3.2.11.1 | 制定单板调试作业书 | 3 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 19 日 |
| 165 | 1.3.2.11.2 | 单板测试标准 | 3 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 19 日 |
| 166 | 1.3.2.11.3 | 单板测试程序 | 3 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 19 日 |
| 167 | 1.3.2.12 | 客户资料 | 10 工作日 | 2020 年 3 月 19 日 | 2020 年 4 月 1 日 |
| 168 | 1.3.2.12.1 | 说明书 | 10 工作日 | 2020 年 3 月 19 日 | 2020 年 4 月 1 日 |
| 169 | 1.3.2.12.2 | 编写维修指导书 | 3 工作日 | 2020 年 3 月 19 日 | 2020 年 3 月 23 日 |
| 170 | 1.3.2.13 | 产品数据归档 | 3 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 19 日 |
| 171 | 1.3.2.13.1 | 项目风险表更新 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 17 日 |
| 172 | 1.3.2.13.2 | 电缆图纸归档 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 17 日 |
| 173 | 1.3.2.13.3 | 原理图归档 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 17 日 |
| 174 | 1.3.2.13.4 | PCB 归档 | 2 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 18 日 |
| 175 | 1.3.2.13.5 | 结构图纸归档 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 17 日 |
| 176 | 1.3.2.13.6 | BOM 归档 | 2 工作日 | 2020 年 3 月 18 日 | 2020 年 3 月 19 日 |
| 177 | 1.3.2.13.7 | 产品开发总结报告 | 2 工作日 | 2020 年 3 月 17 日 | 2020 年 3 月 18 日 |
| 178 | 1.3.2.14 | TR5, 工程样机评审 | 10 工作日 | 2020 年 3 月 20 日 | 2020 年 4 月 2 日 |
| 179 | 1.3.2.14.1 | 料本分析 | 3 工作日 | 2020 年 3 月 20 日 | 2020 年 3 月 24 日 |
| 180 | 1.3.2.14.2 | 阶段关闭查检 | 2 工作日 | 2020 年 3 月 25 日 | 2020 年 3 月 26 日 |
| 181 | 1.3.2.14.3 | 输出质量报告 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 27 日 | 2020 年 3 月 27 日 |
| 182 | 1.3.2.14.4 | 准备 TR5 评审及分发评审 材料 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 30 日 | 2020 年 3 月 30 日 |

表 A6 优化后的研发项目 WBS 表 183-190

| | | | | | |
|-----|------------|------------|--------|-----------------|-----------------|
| 183 | 1.3.2.14.5 | 材料预读 | 1 工作日 | 2020 年 3 月 31 日 | 2020 年 3 月 31 日 |
| 184 | 1.3.2.14.6 | 问题沟通 | 1 工作日 | 2020 年 4 月 1 日 | 2020 年 4 月 1 日 |
| 185 | 1.3.2.14.7 | 举行 TR5 评审会 | 1 工作日 | 2020 年 4 月 2 日 | 2020 年 4 月 2 日 |
| 186 | 1.3.2.15 | 制定发布计划 | 2 工作日 | 2020 年 4 月 3 日 | 2020 年 4 月 6 日 |
| 187 | 1.3.2.16 | 项目经验总结报告 | 2 工作日 | 2020 年 4 月 3 日 | 2020 年 4 月 6 日 |
| 188 | 1.3.2.17 | 资料归档 | 1 工作日 | 2020 年 4 月 7 日 | 2020 年 4 月 7 日 |
| 189 | 1.4 | 验证阶段 | 92 工作日 | 2020 年 4 月 3 日 | 2020 年 8 月 10 日 |
| 190 | 1.5 | 发布阶段 | 11 工作日 | 2020 年 8 月 6 日 | 2020 年 8 月 20 日 |

附录 B

表 B1 基于 PERT 的项目活动时间估算表 1-37

| 序号 | WBS | 任务名称 | 最乐观 | 最悲观 | 最可能 | PERT 时间 |
|----|--------------|--------------|-----|-----|-----|---------|
| 1 | 1.3.1.1.1 | 启动新器件认证 | 3 | 14 | 10 | 9.5 |
| 2 | 1.3.1.1.2 | 新器件测试 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 3 | 1.3.1.1.3 | 新器件测试定制件单体认证 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 4 | 1.3.1.1.4 | 更新初始器件与供应商选择 | 1 | 5 | 4 | 2 |
| 5 | 1.3.1.1.5 | 物料可采购性评估 | 1 | 5 | 4 | 3.67 |
| 6 | 1.3.1.2.1 | 结构详细设计 | 5 | 12 | 11 | 10.17 |
| 7 | 1.3.1.2.2 | 结构详细设计需求跟踪 | 1 | 3 | 3 | 2.67 |
| 8 | 1.3.1.2.3 | 结构评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 9 | 1.3.1.2.4 | 评审后优化 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 10 | 1.3.1.2.5 | 结构出图 | 2 | 7 | 5 | 4.83 |
| 11 | 1.3.1.3.1.1 | 原理图设计 | 3 | 20 | 14 | 13.2 |
| 12 | 1.3.1.3.1.2 | 原理图评审 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 13 | 1.3.1.3.1.3 | 硬件详细设计需求跟踪 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 14 | 1.3.1.3.1.4 | 器件检视 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 15 | 1.3.1.3.1.5 | 原理图评审后修改 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 16 | 1.3.1.3.1.6 | PCB 布局 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 17 | 1.3.1.3.1.7 | PCB 设计 | 2 | 7 | 4 | 4.17 |
| 18 | 1.3.1.3.1.8 | PCB 评审 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 19 | 1.3.1.3.1.9 | PCB 评审后更改 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 20 | 1.3.1.3.1.10 | PCB 外协加工 | 5 | 14 | 7 | 7.83 |
| 21 | 1.3.1.3.1.11 | 单板 BOM 制作 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 22 | 1.3.1.3.1.12 | 单板领料 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 23 | 1.3.1.3.1.13 | 单板焊接 | 3 | 7 | 5 | 5 |
| 24 | 1.3.1.3.1.14 | 单板调试 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 25 | 1.3.1.3.1.15 | 控制板单板自测 | 1 | 5 | 2 | 2.33 |
| 26 | 1.3.1.3.1.16 | 控制板单板测试 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 27 | 1.3.1.4.1 | XX1 模块详细设计 | 5 | 14 | 10 | 9.83 |
| 28 | 1.3.1.4.2 | XX2 模块详细设计 | 5 | 14 | 10 | 9.83 |
| 29 | 1.3.1.4.3 | 软件需求跟踪 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 30 | 1.3.1.4.4 | 软件详细设计评审 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 31 | 1.3.1.4.5 | XX1 模块编码 | 2 | 7 | 5 | 4.83 |
| 32 | 1.3.1.4.6 | XX2 模块编码 | 2 | 7 | 5 | 4.83 |
| 33 | 1.3.1.4.7 | 代码评审 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 34 | 1.3.1.4.8 | 单板软件调试 | 1 | 5 | 3 | 3 |
| 35 | 1.3.1.4.9 | 软件功能自测调试 | 1 | 5 | 3 | 3 |
| 36 | 1.3.1.4.10 | 系统联调 | 3 | 10 | 7 | 6.83 |
| 37 | 1.3.1.4.11 | 系统自测 | 3 | 10 | 7 | 6.83 |

表 B2 基于 PERT 的项目活动时间估算表 38-76

| 序号 | WBS | 任务名称 | 最乐观 | 最悲观 | 最可能 | PERT 时间 |
|----|-------------|------------------|-----|-----|-----|---------|
| 38 | 1.3.1.5.1 | 电气图纸设计 | 3 | 7 | 5 | 5 |
| 39 | 1.3.1.5.2 | 线缆设计, 配线工艺设计 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 40 | 1.3.1.6.1 | 整合产品 BOM(整机) | 1 | 4 | 3 | 2.83 |
| 41 | 1.3.1.6.2 | 整机领料 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 42 | 1.3.1.6.3 | 开发样机装配 | 1 | 4 | 3 | 2.83 |
| 43 | 1.3.1.6.4 | 输出开发样机装配报告 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 44 | 1.3.1.6.5 | 整机工艺评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 45 | 1.3.1.6.6 | 整机联调 | 1 | 3 | 3 | 2.67 |
| 46 | 1.3.1.6.7 | 整机自测 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 47 | 1.3.1.7.1 | 软件测试 | 3 | 10 | 10 | 8.83 |
| 48 | 1.3.1.7.2 | 温升测试 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 49 | 1.3.1.7.3 | 开发样机安规测试 | 1 | 5 | 7 | 5.67 |
| 50 | 1.3.1.7.4 | 开发样机 EMC 测试 | 3 | 7 | 7 | 6.33 |
| 51 | 1.3.1.7.5 | 开发样机整机电性能测试 | 3 | 10 | 8 | 7.5 |
| 52 | 1.3.1.7.6 | 开发样机环境测试 | 1 | 5 | 7 | 5.67 |
| 53 | 1.3.1.7.7 | 开发样机机械振动 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 54 | 1.3.1.7.8 | 测试问题解决 | 1 | 5 | 5 | 4.33 |
| 55 | 1.3.1.7.9 | 开发样机硬件需求跟踪测试 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 56 | 1.3.1.7.10 | 开发样机软件需求跟踪测试 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 57 | 1.3.1.7.11 | 开发样机结构需求跟踪测试 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 58 | 1.3.1.7.12 | 开发样机测试报告编写 | 0.5 | 2 | 2 | 1.75 |
| 59 | 1.3.1.7.13 | 开发样机测试报告评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 60 | 1.3.1.7.14 | 测试报告归档 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 61 | 1.3.1.8.1 | 开发样机料本分析 | 2 | 10 | 10 | 8.67 |
| 62 | 1.3.1.8.2 | 准备 TR4 评审及分发评审材料 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 63 | 1.3.1.8.3 | 材料预读 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 64 | 1.3.1.8.4 | 问题沟通 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 65 | 1.3.1.8.5 | 举行 TR4 评审会 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 66 | 1.3.1.8.6 | 资料归档 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 67 | 1.3.1.9.1.1 | XXXX 板 PCBA 工艺分析 | 1 | 4 | 4 | 3.5 |
| 68 | 1.3.1.9.2.1 | 结构装配工艺(初稿) | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 69 | 1.3.1.9.2.2 | 装配工艺指导书(初稿) | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 70 | 1.3.1.9.2.3 | 整机调测工艺(初稿) | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 71 | 1.3.1.9.2.4 | 软件烧录工艺文件(初稿) | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 72 | 1.3.2.1.1 | 结构设计优化 | 2 | 7 | 6 | 5.5 |
| 73 | 1.3.2.1.2 | 结构评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 74 | 1.3.2.1.3 | 评审后优化 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 75 | 1.3.2.1.4 | 结构出图 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 76 | 1.3.2.1.5 | 结构开模 | 14 | 40 | 35 | 32.3 |

表 B3 基于 PERT 的项目活动时间估算表 77-115

| 序号 | WBS | 任务名称 | 最乐观 | 最悲观 | 最可能 | PERT 时间 |
|-----|--------------|-------------------|-----|-----|-----|---------|
| 77 | 1.3.2.1.6 | 结构修模 | 10 | 30 | 15 | 16.7 |
| 78 | 1.3.2.1.7.1 | 输出结构 BOM (定稿) 及存档 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 79 | 1.3.2.1.7.2 | 结构件/标准件交期跟催及回司 | 2 | 5 | 3 | 3.2 |
| 80 | 1.3.2.1.7.3 | 结构件/标准件发料 7 套 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |
| 81 | 1.3.2.2.1.1 | 原理图优化 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 82 | 1.3.2.2.1.2 | 原理图评审 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |
| 83 | 1.3.2.2.1.3 | 原理图评审后修改 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |
| 84 | 1.3.2.2.1.4 | PCB 优化 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 85 | 1.3.2.2.1.5 | PCB 评审 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |
| 86 | 1.3.2.2.1.6 | PCB 评审后更改 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |
| 87 | 1.3.2.2.1.7 | PCB 外协加工 | 5 | 10 | 7 | 7.17 |
| 88 | 1.3.2.2.1.8 | 单板 BOM 制作 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 89 | 1.3.2.2.1.9 | 单板领料 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 90 | 1.3.2.2.1.10 | 单板焊接 | 5 | 10 | 7 | 7.17 |
| 91 | 1.3.2.2.1.11 | 单板调试 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 92 | 1.3.2.2.1.12 | 单板自测 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 93 | 1.3.2.2.1.13 | 单板测试 | 2 | 3 | 2 | 2.17 |
| 94 | 1.3.2.3.1 | DSP 优化 | 3 | 7 | 5 | 5 |
| 95 | 1.3.2.3.2 | 软件调试 | 5 | 10 | 7 | 7.2 |
| 96 | 1.3.2.4.1 | 设计丝印、铭牌、标签等 | 2 | 4 | 3 | 3 |
| 97 | 1.3.2.4.2 | 包材设计评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 98 | 1.3.2.4.3 | 包材外协加工 | 5 | 10 | 8 | 7.83 |
| 99 | 1.3.2.4.4 | 包材资料归档 | 0.5 | 2 | 1 | 1.1 |
| 100 | 1.3.2.5.1 | 整合产品 BOM(整机) | 1 | 5 | 3 | 3 |
| 101 | 1.3.2.5.2 | 整机领料 | 0.5 | 2 | 1 | 1 |
| 102 | 1.3.2.5.3 | 工程样机装配 | 0.5 | 2 | 6 | 4.4 |
| 103 | 1.3.2.5.4 | 输出工程样机装配报告 | 0.5 | 2 | 1 | 1 |
| 104 | 1.3.2.5.5 | 整机工艺评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 105 | 1.3.2.6.1 | 温升测试 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 106 | 1.3.2.6.2 | 安规测试 | 3 | 7 | 5 | 5 |
| 107 | 1.3.2.6.3 | EMC 测试 | 4 | 7 | 5 | 5.2 |
| 108 | 1.3.2.6.4 | 整机电性能测试 | 5 | 10 | 8 | 7.83 |
| 109 | 1.3.2.6.5 | 环境测试 | 5 | 10 | 7 | 7.2 |
| 110 | 1.3.2.6.6 | 机械振动 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 111 | 1.3.2.6.7 | 测试问题解决 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 112 | 1.3.2.6.8 | 工程样机硬件需求跟踪测试 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 113 | 1.3.2.6.9 | 工程样机软件需求跟踪测试 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 114 | 1.3.2.6.10 | 工程样机结构需求跟踪测试 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 115 | 1.3.2.6.11 | 测试报告编写 | 1 | 2 | 1 | 1.2 |

表 B4 基于 PERT 的项目活动时间估算表 116-153

| 序号 | WBS | 任务名称 | 最乐观 | 最悲观 | 最可能 | PERT 时间 |
|-----|------------|------------------------|-----|-----|-----|---------|
| 116 | 1.3.2.6.12 | 测试报告评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.9 |
| 117 | 1.3.2.6.13 | 测试报告归档 | 0.5 | 1 | 1 | 0.9 |
| 118 | 1.3.2.7.1 | 制定中试培训方案 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 119 | 1.3.2.7.2 | 工程样机中试验证 | 2 | 5 | 3 | 3.2 |
| 120 | 1.3.2.7.3 | 可维护性验证 | 0.5 | 1 | 2 | 1.58 |
| 121 | 1.3.2.8.1 | 优化配线作业指导书 | 0.5 | 1 | 1 | 0.91 |
| 122 | 1.3.2.8.2 | 优化客户资料清单 | 1 | 2 | 1 | 1.2 |
| 123 | 1.3.2.9.1 | 优化 XXX 板工艺指导书 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 124 | 1.3.2.9.2 | XXX 板 PCBA 工艺分析报告 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 125 | 1.3.2.9.3 | 外协加工工艺说明 | 1 | 2 | 1 | 1.2 |
| 126 | 1.3.2.9.4 | 成品板加工作业指导书 | 1 | 2 | 1 | 1.2 |
| 127 | 1.3.2.10.1 | 输出辅料清单\输出标准工时表 | 1 | 3 | 1 | 1.3 |
| 128 | 1.3.2.10.2 | 优化结构装配工艺\优化装配工 艺指导书 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 129 | 1.3.2.10.3 | 输出包装作业指导书\输出运输 说明 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 130 | 1.3.2.10.4 | 优化整机调测作业指导书 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 131 | 1.3.2.10.5 | 优化软件烧录作业指导书 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 132 | 1.3.2.11.1 | 制定单板调试作业书 | 1 | 3 | 3 | 2.67 |
| 133 | 1.3.2.11.2 | 单板测试标准 | 1 | 3 | 3 | 2.67 |
| 134 | 1.3.2.11.3 | 单板测试程序 | 1 | 3 | 3 | 2.67 |
| 135 | 1.3.2.12.1 | 说明书 | 5 | 12 | 10 | 9.5 |
| 136 | 1.3.2.12.2 | 编写维修指导书 | 2 | 3 | 3 | 2.83 |
| 137 | 1.3.2.13.1 | 项目风险表更新 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 138 | 1.3.2.13.2 | 电缆图纸归档 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 139 | 1.3.2.13.3 | 原理图归档 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 140 | 1.3.2.13.4 | PCB 归档 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 141 | 1.3.2.13.5 | 结构图纸归档 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 142 | 1.3.2.13.6 | BOM 归档 | 0.5 | 2 | 2 | 1.75 |
| 143 | 1.3.2.13.7 | 产品开发总结报告 | 0.5 | 2 | 2 | 1.75 |
| 144 | 1.3.2.14.1 | 料本分析 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 145 | 1.3.2.14.2 | 阶段关闭查检 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 146 | 1.3.2.14.3 | 输出质量报告 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 147 | 1.3.2.14.4 | 准备 TR5 评审及分发评审材料 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 148 | 1.3.2.14.5 | 材料预读 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 149 | 1.3.2.14.6 | 问题沟通 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 150 | 1.3.2.14.7 | 举行 TR5 评审会 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 151 | 1.3.2.15 | 制定发布计划 | 0.5 | 2 | 2 | 1.75 |
| 152 | 1.3.2.16 | 项目经验总结报告 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 153 | 1.3.2.17 | 资料归档 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |

附录 C

表 C1 PERT 优化后的关键路径和项目工期时间表 1-37

| 序号 | WBS | 任务名称 | 最乐观 | 最悲观 | 最可能 | PERT 时间 |
|----|-------------|------------------|-----|-----|-----|---------|
| 1 | 1 | 低压全新产品计划模板 | | | | |
| 2 | 1.1 | 概念阶段 | | | | |
| 3 | 1.3 | 开发阶段 | | | 212 | |
| 4 | 1.3.1 | 开发样机 | | | 143 | |
| 5 | 1.3.1.4 | 软件设计 | | | 38 | |
| 6 | 1.3.1.4.1 | XX1 模块详细设计 | 5 | 14 | 10 | 9.83 |
| 7 | 1.3.1.4.2 | XX2 模块详细设计 | 5 | 14 | 10 | 9.83 |
| 8 | 1.3.1.4.3 | 软件需求跟踪 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 9 | 1.3.1.4.4 | 软件详细设计评审 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 10 | 1.3.1.4.5 | XX1 模块编码 | 2 | 7 | 5 | 4.83 |
| 11 | 1.3.1.4.6 | XX2 模块编码 | 2 | 7 | 5 | 4.83 |
| 12 | 1.3.1.4.7 | 代码评审 | 0.5 | 2 | 1 | 1.08 |
| 13 | 1.3.1.4.8 | 单板软件调试 | 1 | 5 | 3 | 3 |
| 14 | 1.3.1.4.9 | 软件功能自测调试 | 1 | 5 | 3 | 3 |
| 15 | 1.3.1.4.10 | 系统联调 | 3 | 10 | 7 | 6.83 |
| 16 | 1.3.1.4.11 | 系统自测 | 3 | 10 | 7 | 6.83 |
| 17 | 1.3.1.6.6 | 整机联调 | 1 | 3 | 3 | 2.67 |
| 18 | 1.3.1.7.4 | 开发样机 EMC 测试 | 3 | 7 | 7 | 6.33 |
| 19 | 1.3.1.7.5 | 开发样机整机电性能测试 | 3 | 10 | 8 | 7.5 |
| 20 | 1.3.1.7.6 | 开发样机环境测试 | 1 | 5 | 7 | 5.67 |
| 21 | 1.3.1.7.7 | 开发样机机械振动 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 22 | 1.3.1.7.8 | 测试问题解决 | 1 | 5 | 5 | 4.33 |
| 23 | 1.3.1.7.12 | 开发样机测试报告编写 | 0.5 | 2 | 2 | 1.75 |
| 24 | 1.3.1.7.13 | 开发样机测试报告评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 25 | 1.3.1.8 | TR4, 开发样机评审 | | | 15 | |
| 26 | 1.3.1.8.1 | 开发样机料本分析 | 2 | 10 | 10 | 8.67 |
| 27 | 1.3.1.8.2 | 准备 TR4 评审及分发评审材料 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 28 | 1.3.1.8.4 | 问题沟通 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 29 | 1.3.1.8.5 | 举行 TR4 评审会 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 30 | 1.3.1.8.6 | 资料归档 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 31 | 1.3.2.2 | 硬件优化 | | | 30 | |
| 32 | 1.3.2.2.1 | XXX 板优化 | | | 30 | |
| 33 | 1.3.2.2.1.1 | 原理图优化 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 34 | 1.3.2.2.1.2 | 原理图评审 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |
| 35 | 1.3.2.2.1.3 | 原理图评审后修改 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |
| 36 | 1.3.2.2.1.4 | PCB 优化 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 37 | 1.3.2.2.1.5 | PCB 评审 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |

表 C2 PERT 优化后的关键路径和项目工期时间表 38-73

| 序号 | WBS | 任务名称 | 最乐观 | 最悲观 | 最可能 | PERT 时间 |
|----|--------------|------------------|-----|-----|-----|---------|
| 38 | 1.3.2.2.1.6 | PCB 评审后更改 | 1 | 2 | 1 | 1.17 |
| 39 | 1.3.2.2.1.7 | PCB 外协加工 | 5 | 10 | 7 | 7.17 |
| 40 | 1.3.2.2.1.8 | 单板 BOM 制作 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 41 | 1.3.2.2.1.9 | 单板领料 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 42 | 1.3.2.2.1.10 | 单板焊接 | 5 | 10 | 7 | 7.17 |
| 43 | 1.3.2.2.1.11 | 单板调试 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 44 | 1.3.2.2.1.12 | 单板自测 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 45 | 1.3.2.2.1.13 | 单板测试 | 2 | 3 | 2 | 2.17 |
| 46 | 1.3.2.5 | 工程样机装配 | | | 8 | |
| 47 | 1.3.2.5.1 | 整合产品 BOM(整机) | 1 | 5 | 3 | 3 |
| 48 | 1.3.2.5.2 | 整机领料 | 0.5 | 2 | 1 | 1 |
| 49 | 1.3.2.5.3 | 工程样机装配 | 0.5 | 2 | 6 | 4.4 |
| 50 | 1.3.2.5.4 | 输出工程样机装配报告 | 0.5 | 2 | 1 | 1 |
| 51 | 1.3.2.5.5 | 整机工艺评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 52 | 1.3.2.6 | 工程整机测试 | | | 16 | |
| 53 | 1.3.2.6.1 | 温升测试 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 54 | 1.3.2.6.2 | 安规测试 | 3 | 7 | 5 | 5 |
| 55 | 1.3.2.6.3 | EMC 测试 | 4 | 7 | 5 | 5.2 |
| 56 | 1.3.2.6.4 | 整机电性能测试 | 5 | 10 | 8 | 7.83 |
| 57 | 1.3.2.6.5 | 环境测试 | 5 | 10 | 7 | 7.2 |
| 58 | 1.3.2.6.6 | 机械振动 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 59 | 1.3.2.6.7 | 测试问题解决 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| 60 | 1.3.2.6.11 | 测试报告编写 | 1 | 2 | 1 | 1.2 |
| 61 | 1.3.2.6.12 | 测试报告评审 | 0.5 | 1 | 1 | 0.9 |
| 62 | 1.3.2.13.6 | BOM 归档 | 0.5 | 2 | 2 | 1.75 |
| 63 | 1.3.2.14 | TR5, 工程样机评审 | | | 10 | |
| 64 | 1.3.2.14.1 | 料本分析 | 2 | 5 | 3 | 3.17 |
| 65 | 1.3.2.14.2 | 阶段关闭查检 | 1 | 2 | 2 | 1.83 |
| 66 | 1.3.2.14.3 | 输出质量报告 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 67 | 1.3.2.14.4 | 准备 TR5 评审及分发评审材料 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 68 | 1.3.2.14.5 | 材料预读 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 69 | 1.3.2.14.6 | 问题沟通 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 70 | 1.3.2.14.7 | 举行 TR5 评审会 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 71 | 1.3.2.17 | 资料归档 | 0.5 | 1 | 1 | 0.92 |
| 72 | 1.4 | 验证阶段 | | | 92 | |
| 73 | 1.5 | 发布阶段 | | | 11 | |