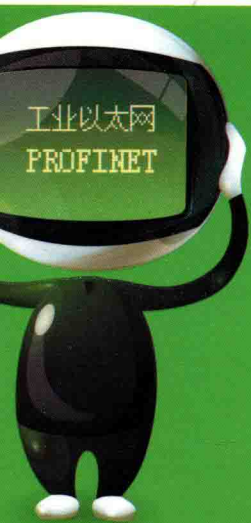


# 大话 PROFINET

智能连接工业4.0

陈曦 编著



超高人气，西门子技术论坛精华帖，  
技术专家专栏

超实用内容，**工业以太网PROFINET**诚意之作，  
干货十足

超轻松有趣，  
原来学技术也可以这么好玩



化学工业出版社

大话  
PROFINET  
智能连接工业4.0

陈曦 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书用类比的手法、风趣的语言，介绍了工业 4.0 的“连接助手”——PROFINET 技术的相关知识。本书分为三大篇章：在入门篇中，介绍了一个草根工程师眼中的工业 4.0，并且加入了一些网络的技术视角，搭建了展示 PROFINET 所需要的技术平台，然后引入 PROFINET；在基础篇中，运用 PROFINET 技术搭建了一个满足工业 3.0 特点的工厂生产线控制系统通信网络，在组网的过程中逐步解释了其中所用到的 PROFINET 技术细节；在提高篇中，介绍了 PROFINET 系统运行时通信的内容等“高精尖”知识，为解决实际工作中遇到的更为复杂的问题提供一些思路。

本书视角独特，内容新颖实用，语言轻松有趣，适合通信、自动化、工业控制领域的技术人员阅读使用，同时也可作为高等院校相关专业的教材及参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

大话 PROFINET：智能连接工业 4.0/ 陈曦编著.  
北京：化学工业出版社，2017.1  
ISBN 978-7-122-28379-5

I . ①大… II . ①陈… III . ①总线 - 技术  
IV . ① TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 259445 号

---

责任编辑：粟利娜  
责任校对：边涛

装帧设计：王晓宇

---

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）  
印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司  
710mm×1000mm 1/16 印张 11 字数 164 千字 2017 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899  
网 址：<http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：48.00 元

版权所有 违者必究

## 前言

工业 4.0 是当下最热门的话题之一。中国制造业尚处于工业 2.0 和工业 3.0 并行发展的阶段，想要在工业 4.0 的征途中实现“弯道超车”，就必须走工业 2.0 补课、工业 3.0 普及、工业 4.0 示范的发展道路，那么深入理解一种重要的工业以太网标准——PROFINET，就是在普及工业 3.0，就是在帮助读者从技术的层面理解工业 4.0。

PROFINET 是基于工业以太网技术的新一代自动化总线标准。既然是“标准”，那么大家听到这个词会有怎样的第一印象呢？是不是会想到白皮书一样的东西——有章节和条款、有文字和数据、有定义和解释。的确，在众多讲解 PROFINET 标准的培训教程中，介绍的内容不外乎是实时通信、分布式现场设备、运动控制、分布式自动化、网络安装、安全、过程控制、IT 标准等内容。德国的工程师用这样的教程，美国的工程师用这样的教程，国内的工程师也用这样的教程。

所以笔者觉得应该拿出一些方法帮助大家理解，减少学校和企业培养人才的难度。这俗话说得好：“马无夜草不肥”。也就是说，咱们不仅要有兢兢业业的工作态度，踏实肯干的工作作风，而且还要有一些事半功倍的工作方法，才能让中国制造业在这场影响全球的工业革命中实现“弯道超车”。

其实本书能够出版，是经历了一点曲折的。在开始码字的时候，正处于我工作的低谷期，当时感觉十分迷茫，因为学了一大堆东西后却不知道怎么用，怎么服务于人民群众。经过一段时间的思考，我决定那就先服务自己吧，把学到的东西想想透彻，先让自己明白，然后写给别人看，关键是得写得深入浅出，让别人能看明白。而且要写得有趣些，不然大家工作那么忙，有点时间可以上微信抢红包呀，干吗费脑筋看这些枯燥的东西呢。写着写着就想到可以在论坛上贴出来呀，让更多朋友受益。也许是好事多磨，用《大话 PROFINET（连载）》的标题在论坛上第一次发布帖子就给毙了，就像公司有良好的业绩，想申请股票上市却给证监会驳回一样，当时真觉得自己运气不太好。不过活人哪能被尿憋死，如果不能直接上市，那就借壳上市吧，于是笔者拿出以前在论坛上已经发布过的一篇帖子，把名字改成《大话 PROFINET（连载）》，把内容

改了再提交，终于得以发布。后来随着一次次的跟帖连载，终于收到的第一个网友回复，接下来是很多网友支持，再到论坛版主提升了帖子的热度，乃至得到官方微博的宣传，再后来收到编辑的约稿，最后行文成书，其中酸甜苦辣，真是只有自己才能体会。

其实学习本来就不是易事，我写这本书的初衷也是希望大家学习起来更加轻松，充满乐趣。无论如何，耐着心，读下去！这本书要比教材轻松、开心得多……

## 组织结构

本书分为三大篇章：入门篇、基础篇和提高篇。在入门篇中，先跟读者聊一聊一个草根工程师眼中的工业 4.0，并且加入了一些网络的技术视角，搭建了展示 PROFINET 所需要的所有技术平台，然后引入 PROFINET。在基础篇中，本书将运用 PROFINET 技术来搭建一个满足工业 3.0 特点的工厂生产线控制系统通信网络，在组网的过程中逐步解释一下其中所用到的所有 PROFINET 技术细节。在提高篇中，笔者再讲一些“高精尖”的东西作为提高，有兴趣的朋友可以了解到 PROFINET 系统运行时通信的内容，为解决实际工作中遇到的更为复杂的问题提供一些思路。

## 本书特点

当下的关于 PROFINET 的教程实在是过为严肃了些，样子千篇一律，讲解晦涩难懂，一点也没给人一种“新一代”的感觉。于是，笔者就想通过一种当下比较流行的方法——“图解 ××”或者是“一幅图看懂 ××”，来重新解读一下 PROFINET，使之变得亲切些，更接地气儿，根本目的就是想把技术也写得好玩一点。本书将运用 PROFINET 技术来搭建一个满足工业 3.0 特点的工厂控制系统通信网络，在组网的过程中逐步解释一下其中 PROFINET 所包含的所有技术细节。

## 读者对象

- 工业以太网相关研发人员。
- 自动化系统的设计人员。
- 相关专业的市场销售人员。
- 高等院校相关专业学生。

## 编者与致谢

在此要特别感谢我的母亲，作为本书的第一名读者，她无论何时都会信任和鼓励我；还要感谢我的妻子对我的支持和帮助；当然还有我的女儿，小家伙是我灵感的来源。同时还要感谢本书的编辑，您的慧眼发现了“第四个苹果”，促成了本书的面世。

本书由陈曦编著，同时参与本书资料整理等相关工作的人员还有马海英、张桂红、张玉书、王素珍、张波、孙微等。由于作者水平有限，书中疏漏、不足之处在所难免，恳请各位读者指正。

**编著者**

# 目录

入门篇	/001
1	楔子——心有多大，舞台就有多大 /002
	1.1 工业 1.0 回顾 /003
	1.2 工业 2.0 补课 /004
	1.3 工业 3.0 普及 /005
	1.3.1 PLC /005
	1.3.2 现场总线 /006
	1.4 工业 4.0 实现之路 /008
	1.5 互联网 /010
	1.5.1 互联网的发展历史 /010
	1.5.2 OSI 参考模型 /011
	1.6 互联网中的局域网 /013
	1.7 用以太网实现局域网 /015
	1.8 从以太网到工业以太网 /016
	1.9 小结 /017
2	PROFINET 概述——大咖出场 /018
	2.1 PROFINET 是什么 /018
	2.2 PROFINET 的作用 /019
	2.3 PROFINET 的特点 /020
	2.3.1 PROFINET 与 PROFIBUS 比较 /020
	2.3.2 工业以太网标准之间的比较 /022
	2.4 PROFINET 的优点 /023
	2.5 PROFINET 的基本内容 /026

	2.6 本书对 PROFINET 的分析方法 /026
	2.7 小结 /028
基础篇	/029
3	PROFINET IO——秀一下肌肉 /030
	3.1 系统概述 /030
	3.2 PROFINET 设备类型 /031
	3.2.1 IO 控制器 /033
	3.2.2 IO 设备 /034
	3.2.3 IO 监视器 /034
	3.2.4 通信服务 /034
	3.2.5 PROFINET IO 系统 /036
	3.3 一致性类别 /037
	3.3.1 什么是一致性类别 /038
	3.3.2 一致性类别选项 /039
	3.3.3 如何根据一致性类别选择设备 /041
	3.4 实时性 /043
	3.4.1 什么是 PROFINET IO 系统的实时性 /044
	3.4.2 普通以太网不具备实时性 /045
	3.4.3 PROFINET 如何实现实时性 /046
	3.4.4 PROFINET IO 系统的实时等级 /049
	3.5 防护等级 /050
	3.6 其他要求 /051
	3.7 小结 /052
4	PROFINET 安装——连线中，请稍候…… /054
	4.1 安装概述 /055



	4.2 网络拓扑 /056
	4.2.1 线形拓扑 /056
	4.2.2 星形拓扑 /057
	4.2.3 树形拓扑 /058
	4.2.4 环形拓扑 /059
	4.3 PROFINET 的传输介质 /060
	4.2.1 电缆 /061
	4.3.2 光缆 /064
	4.3.3 线缆连接器 /065
	4.3.4 无线局域网 /066
	4.4 交换机 /068
	4.4.1 交换机的基本原理 /068
	4.4.2 交换机的地址列表 /069
	4.4.3 工业以太网交换机的分类 /071
	4.4.4 冲突域与广播域 /073
	4.4.5 虚拟局域网 VLAN /073
	4.5 一些安装标准 /075
	4.6 网络安装小结 /076
5	系统配置——别着急，让系统飞一会儿 /078
	5.1 总线配置器 /079
	5.2 设备标识 /080
	5.2.1 设备标识的作用 /080
	5.2.2 设备名称 /081
	5.2.3 MAC 地址 /082
	5.2.4 IP 地址 /083

	5.3 GSD 文件 /084
	5.3.1 什么是 GSD 文件 /084
	5.3.2 GSD 文件的命名 /085
	5.3.3 GSD 文件的使用 /085
	5.4 设备模型 /086
	5.5 彻查 PROFINET 循环通信 /088
	5.5.1 为什么需要循环通信 /089
	5.5.2 循环通信的节拍 /090
	5.5.3 设备的减速比 /091
	5.5.4 其他和通信相关的时间参数 /093
	5.6 小结 /094
6	优化 PROFINET 网络——玉不琢，不成器 /095
	6.1 影响网络性能的不合理因素 /095
	6.2 如何优化网络 /096
	6.2.1 考虑设备合理的数据量 /096
	6.2.2 改进网络拓扑结构 /097
	6.2.3 合理设置周期时间 /098
	6.3 使用无线传输 /099
	6.4 与更高级别的网络（企业网）通信 /101
	6.5 安全 /102
	6.6 小结 /102
提高篇	/103
7	PROFINET IO 诊断与检测技术 /104
	7.1 PROFINET IO 诊断 /104
	7.1.1 设备诊断 /105

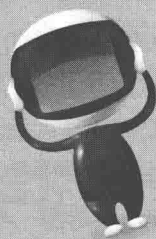
	7.1.2 网络诊断 /106
	7.2 PROFINET 检测 /107
	7.3 诊断与检测工具 /109
	7.3.1 线路测试仪 /110
	7.3.2 PROFINET 网络诊断工具 /110
	7.3.3 报文分析软件 /111
	7.4 其他软件 /112
	7.4.1 IO 控制器模拟软件 /112
	7.4.2 XML 分析软件 /113
	7.5 小结 /114
8	PROFINET 通信协议——没有规矩，不成方圆 /116
	8.1 PROFINET IO 协议概述 /117
	8.2 IP 网际协议 /119
	8.2.1 TCP 协议 /120
	8.2.2 UDP 协议 /120
	8.3 ARP 地址解析协议 /121
	8.3.1 ARP 的工作原理 /122
	8.3.2 ARP 报文 /123
	8.4 PROFINET 实时协议 /124
	8.4.1 FrameID /125
	8.4.2 周期性数据 /126
	8.4.3 CycleCounter 详解 /126
	8.4.4 DataStatue 详解 /127
	8.4.5 报警报文 /128
	8.5 DCP 发现与配置协议 /128

	8.5.1 DHCP 协议 /129
	8.5.2 DHCP 与 DCP 的比较 /130
	8.5.3 DCP 与 ARP 的比较 /132
	8.5.4 DCP 设置设备参数 /132
	8.5.5 更换设备过程中的 DCP 通信 /133
	8.5.6 DCP 报文 /134
	8.6 LLDP 链路层发现协议 /135
	8.6.1 发现相邻节点 /135
	8.6.2 更换设备的基本规则 /136
	8.6.3 LLDP 报文 /137
	8.7 SNMP 简单网络管理协议 /138
	8.7.1 识别拓扑 /139
	8.7.2 SNMP 的特点 /139
	8.7.3 SNMP 的格式 /140
	8.7.4 管理信息数据库简介 /140
	8.8 MRP 介质冗余协议 /141
	8.9 包含 VLAN 标签的报文 /143
	8.10 精确时钟协议 (PTCP) 简介 /143
	8.11 ICMP 因特网控制消息协议 /145
	8.12 小结 /146
9	PROFINET IRT 通信 /147
	9.1 PROFINET 等时实时介绍 /148
	9.2 等时实时通信的优势 /149
	9.2.1 时钟同步 /149
	9.2.2 带宽预留 /150

	9.2.3 通信规划 /151
	9.3 不同的等时实时通信 /152
	9.3.1 高度灵活的等时实时通信 /152
	9.3.2 高性能的等时实时通信 /153
	9.4 小结 /155
10	杂项——抛砖引玉 /157
	10.1 PROFINET CBA /157
	10.1.1 什么是 CBA /157
	10.1.2 组件对象模型 /158
	10.2 集成现场总线系统 /159
	10.2.1 代理 (Proxy) /159
	10.2.2 PROFINET 网关 /159
	10.3 PROFINET 组织与规范 /160
	10.4 小结 /160
	参考文献 /161

大话PROFINET

——智能连接工业4.0



## 入门篇

夜幕降临，一个工程师仰望着浩瀚星空，心潮澎湃。万众瞩目的工业4.0，就像这群星璀璨的夜空，已经拉开帷幕。如果自己能在这一轰轰烈烈的时代做些什么，或许也能成为繁星当中的一点。

# ① 楔子——心有多大，舞台就有多大

工业 4.0，也称为第四次工业革命。工业革命的本质就是生产效率得到大幅提升，而生产模式的转变会推动生产效率的大幅提升，科技进步则会促使生产模式的转变。因此，在谈工业革命时，往往混淆两种提法：一种是技术进步；另一种是生产模式的转变。其实，科技进步是工业革命的起因，生产模式的转变是工业革命的结果。

工业 4.0 不是专家杜撰的概念，是工业时代新技术融合的具体表现。目前的社会已经进入第四次工业革命时代（见图 1-1），工业 4.0 就是这次变革的具体体现。概念包含了由集中式控制向分散式增强型控制的基本模式转变，目标是建立一个高度灵活的个性化和数字化的产品与服务的生产模式。

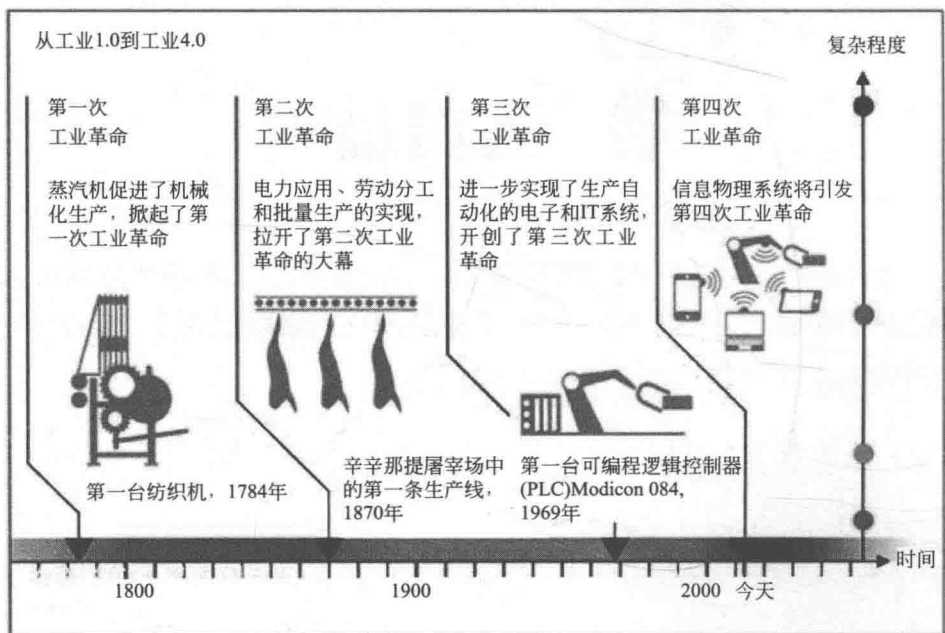


图 1-1 四次工业革命

前三次工业革命的发生，分别源于机械化、电力和信息技术，而互联网和制造业服务化迎来了智能制造为主导的第四次工业革命。较之蒸汽机发明带来的伟大工业技术变革，互联网掀起了一场建立在计算机技术基础上的社会革命，改变了文明演进的方式，创造了一种无所不在的新型网络社会，彻底改变了全球化进程中的各种联系。

三十年前，人们还在批评老子的“不出于户，以知天下”是唯心主义，然而今天，人们却能在家里、户外使用电脑和手机等互联网终端设备进行工作，完成购物和读书等，这是以往完全不敢想象的事情。互联网启动了人们的工作、购物和休闲活动的新模式，彻底地打破了人们对于固定工作场所的老旧思想，使整个世界成为即通有无的信息共同体，真正把人们带入了令人惊讶、可以足不出户就能知晓天下的新境界。

## 1.1 工业 1.0 回顾

现如今蒸汽机火车头几乎看不见了，所以讲到工业 1.0，大家一定觉得工业 1.0 很古老、很遥远、很落伍，其实不然。中国制造业不像德国，已经具备了传统装备设计与制造的国家优势，虽然经历了几十年跳跃式的发展，但仍然处于自动化的初级阶段，而且发展水平相当不对称，一些地方已经开始向工业 4.0 发展的同时，而部分地方还保留着工业 1.0 的印记，也就是手工作坊式的生产模式。不过，这里不去考究造成这种现象的原因，也不讨论解决办法，只是想简单掰扯一下工业 1.0，就像同学聚会叙叙旧。

有个段子还是比较有意思的，这个段子来源于网络上的一篇文章——《自动控制的故事》。如图 1-2 所示的故事（瓦特与蒸汽机）想必大家都听过，不过据说故事是后人杜撰出来的，其实事情的经过是这样的：纽考门比瓦特先发明蒸汽机，但是蒸汽机的转速控制问题没有解决，弄不好转速飞升，机器损坏先不说，还可能引起大事故。瓦特在蒸汽机的转轴上安了一个小棍，棍的一端和放汽阀连着，棍的另一端是一个小重锤，棍中间某个地方通过支点和转轴连接。转轴转起来的时候，重锤由于离心力的缘故挥起来。转速太高了，重锤挥得很高，放汽阀就被按下去，转速下降；转速太低了，重锤不起来，放汽阀就被松开，转速回升。这样，蒸汽机可以自动保持稳定的转速，既保证安全，又方便使用。也就是因为这个小小的转速调节器，使得瓦特的名字和第一次工业革命（工业 1.0）连在一起，而纽考门的名字就要到历史书里去找了。



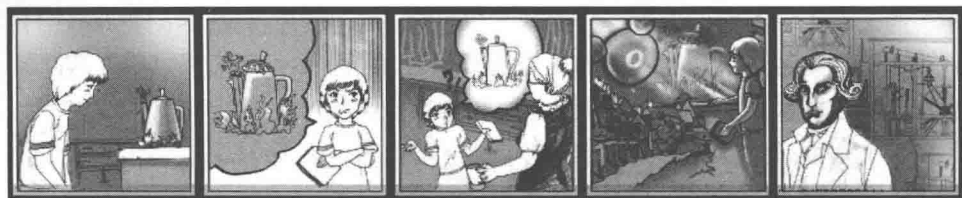


图 1-2 瓦特与蒸汽机

## 1.2 工业 2.0 补课

在 2009 年，笔者设计了一个产品，包括软硬件设计、外壳与安装，产品测试通过后进行生产。一开始是小批量生产，数目是 10 台，组织几个人来做，每个人组装若干台。笔者记得组装一台平均需要大概二十分钟，组装过程费时费力，想到这才是小批量生产，如果到后面大批量的话，需要的时间和人力成本将不可控。

后来，笔者发现了提高生产效率的秘诀——使用流水线（见图 1-3），将产品的组装分为配料、装配、加固等若干工序，每道工序只做同样的操作，这样就可以大大缩短产品组装的平均时间，用极少的成本完成了原本看似极为复杂的工作，而且人手使用相当灵活。

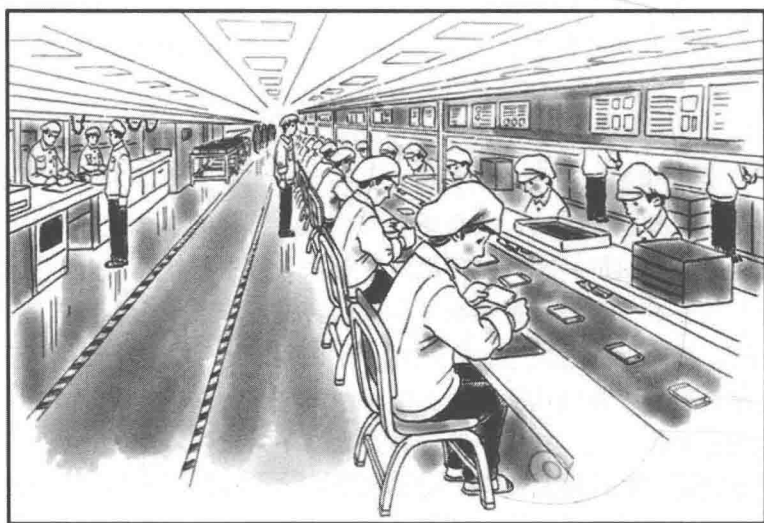


图 1-3 流水线生产