

上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

毕业设计课程报告

SENIOR DESIGN COURSE PROJECT REPORT



项目名称：工控机软硬件兼容性问题

赞助企业：上海大众汽车有限公司

学生姓名及学号：胡发成 5130209362

王林涛 5130309054

蒋如飞 5130209403

王硕 5130209277

指导教师：徐凯

学院(系)：机械与动力工程学院

上海交通大学

毕业设计课程报告学术诚信声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计课程报告，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本报告不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

作者签名：

日期： 年 月 日

上海交通大学

毕业设计课程报告版权使用授权书

本毕业设计课程报告作者同意学校保留并向国家有关部门或机构送交报告的复印件和电子版，允许报告被查阅和借阅。本人授权上海交通大学可以将本毕业设计课程报告的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本毕业设计课程报告。

保密☐，在____年解密后适用本授权书。

本报告属于

不保密☐.

(请在以上方框内打“√”)

作者签名:

指导教师签名:

日期: 年 月 日

日期: 年 月 日

工控机软硬件兼容性问题

摘要

目前上汽大众冲压线的控制系统有许多部分是 1995-2005 年代建成, 由于使用时间较久、软件版本成旧等问题, 造成新旧设备不匹配, 大量设备备件需要进行兼容改造、技术升级。由于大面积的换代改造成本太高, 大众公司希望能够寻求一种解决兼容问题、恢复生产的方案, 以延长机器使用寿命与投资周期。本文旨在研究大众公司拆垛机新设备阀组与旧 S5 PLC 机组的兼容问题, 通过直接或者间接的方式, 在旧控制系统上与新的设备通讯, 并探究兼容性问题的根源所在。

针对大众公司需求, 课题组对 Profibus-DP 协议以及 GSD 组态文件结构进行深入学习, 并提出多种解决方案: 1. GSD 组态文件开发方案 2. S7 主从站方案等。课题组从 S7 主从站方案入手, 通过 DP 接口将旧 S5 PLC 机组与 S7 相连接, 在 profibus 网组态中将 S7 设为 S5 的从站, 再由 S7 直接控制阀组, 实现通讯。主从站方案成功后进行 GSD 组态文件的开发, 旨在根本上使新阀组兼容于旧 S5 控制系统。经深入研究, GSD 组态文件可分成用户参数、诊断、模块等部分, 所有部分、格式均通用于 S5、S7 系统, 最可能出现问题的在于 S5 组态软件对 GSD 模块部分的读取过程。经一系列实验, 最终证实兼容问题根源存在于在模块部分的引用种类数, 当对该部分进行一定删减, 读取问题便不复存在。通过该 GSD 改写方法, 实现了 S5 PLC 机组对新阀组的直接控制, 达到大众公司的要求。当对发生同样问题的 ET200S 进行 GSD 改写, 新的 GSD 也能兼容于旧 S5 PLC 机组。这证明该 GSD 开发方法的普适性, 能使许多出现类似问题无法兼容新备件投入使用, 从而不影响生产, 这对于许多企业解决兼容问题、稳定生产是有重大意义的。

关键词: Profibus, S5 PLC, GSD 组态文件, DP 主从站

COMPATIBILITY PROBLEMS BETWEEN INDUSTRIAL CONTROL SYSTEM AND UPDATED IPC HARDWARE

ABSTRACT

In the press shop of the SHANGHAI VOLKSWAGEN, many parts of the control system were built between 1995 and 2005. Because the control system has been on work for too long and the software version is too old, the new spare parts are not compatible with the old control system. A large number of equipment need to be upgraded. Considering the high cost of the update, SHANGHAI VOLKSWAGEN hopes to find a temporary solution to handle the problem, keep producing and extend the service life of the equipment and investment cycle. The paper aims to solve the compatibility problem of the new spare parts and the old PLC-S5, by communicating the new equipment with the old control system in a direct or indirect way.

According to the needs of the SHANGHAI VOLKSWAGEN, we study deeply on the Profibus-DP protocol and GSD file structure. We put forward solutions like modifying the GSD file, using PLC-S7 as a slave, etc. We start with the second solution: Set S7 as the slave of S5 and the new valve group can be controlled by S7, so S5 can control the valve group through S7. After the success of the second solution, we work on the GSD file. A GSD file can be divided into user parameters, diagnosis, modules and other parts. All the parts are the same no matter for S5 or S7, so the problem is most likely in the process of S5 configuration tool reading the modules of the GSD file. Through a series of experiments, we confirm that the compatibility problem is caused by the numbers of different type of references in the modules of GSD file. The problem does not exit after we delete some references. So by modifying the GSD file, we meet the requirement of the SHANGHAI VOLKSWAGEN to make S5 control the new valve group directly. We also modify the GSD file of ET200S in the same way and the new GSD file match the old S5 perfectly, which prove that our solution of modifying the GSD file can be adapted in many situations, and it is a good news for enterprises which are having the same compatibility problems because they do not have to stop production to upgrade their equipment.

Key words: Profibus, S5 PLC, GSD file, DP master and slave

目 录

第一章	绪论	1
1.1	上汽大众冲压车间主要设备概况	1
1.2	冲压中心生产线研究背景	2
1.3	S5 系列 PLC 不兼容新配套设备的现有解决方法	2
1.4	新性配套设备兼容性研究方向	3
第二章	设计规范与概念方案	4
2.1	设计规范书	4
2.2	概念设计	5
2.3	概念设计的选择	6
2.4	本章小结	7
第三章	profibus-DP 协议研究	8
3.1	profibus-DP 协议结构	8
3.2	profibus 设备分类	9
3.3	profibus-DP 物理层	9
3.4	profibus-DP 数据链路层	9
3.5	循环数据交换	11
3.5	结论	13
第四章	主从站解决方案	14
4.1	主从站方案简介	15
4.2	主从站方案实施步骤	15
4.3	主从站方案结论	19
第五章	GSD 协议研究	错误!未定义书签。
5.1	GSD 组态文件的语法语义	错误!未定义书签。
5.2	CPX 型阀组的研究	错误!未定义书签。
5.3	GSD 组态文件生成器的程序原理	错误!未定义书签。
5.4	GSD 组态文件生成程序的适用范围	错误!未定义书签。
第六章	GSD 开发与运行	36
6.1	使用 COM PROFIBUS 软件配置 DP 网络	36
6.2	GSD 组态文件特殊参数猜想实验	39
6.3	GSD 组态文件模块个数猜想实验	40
6.4	26 到 50 模块针对性实验	41
6.5	模块结构分析	42
6.6	模块引用相关量统计	42
6.7	COM PROFIBUS 解析 GSD 内存消耗问题猜想	43
6.8	GSD 制作软件的开发	44
6.9	结论普适性验证	47
6.10	小结	47
第七章	结论	49
谢辞		51

第一章 绪论

在汽车行业中,生产设备的稳定性极为重要,是维持一个企业生产运行和持续发展的重要保障,一旦设备出现故障需要停产修复将造成极大的经济损失。工业实际中的故障有许多是因为零件不合格、人工操作等因素造成的,还有许多的故障并不是因为人为的错误,而是因为版本不匹配、不兼容产生的,这类故障在生产中往往会引起更大的损失。

现阶段电器发展非常迅速,因此企业目前许多在使用中运行状况良好的旧电气控制系统的配套设备基本都已停产,被新的配套设备所取代。然而新生产的相对应的部件多以最新的控制系统作为参考设计的,和老的控制系统的兼容问题不在供应商的考虑范围内,因此新配件与老电气控制系统的兼容性较差,无法和旧控制系统进行组态的事常有发生。旧控制系统使用中的这类型配套设备一旦出现故障需要更换,将面临无可用的配件能进行直接替代的窘境。如果通过升级控制系统的方式来控制新配套设备,整条生产线都要随之升级换代,大面积更新控制系统的方式来改造成本太大,升级改造可能需要一两千万的投资,并且不仅在硬件上需要重新搭建和配置,软件方面之前的旧控制系统中的命令也无法直接在新的控制系统中运行,需要投入大量精力为新的控制系统编写新的运行命令风险大,bug 多耗时耗力,稳定性肯定也有问题。通常一个企业的设备没有必要也不可能更新这么快,而部分新的设备要加入使用却是不可避免的,那研究如何使得新设备兼容旧的控制系统,或者通过别的方式加入旧控制系统的组态中,实现通讯控制,以维持设备的稳定运行,在不全面更新换代的前提下延续使用寿命和投资周期,使得企业的利益最大化,有非常重要的现实意义。

1.1 上汽大众冲压车间主要设备概况

上汽大众冲压车间配备的主要设备有开卷机、冲压线以及辅助设备行车、废料输送机等,目前上汽大众共计有 24 条冲压线和三条开卷线;

其中压机的控制系统经历了四代技术,即第一代是以继电器为控制核心的电气控制技术;第二代是以集成型 PLC 为控制核心的电气控制技术;第三代是以人机界面、现场总线结合 PLC 为控制核心的电气控制技术;第四代是以高速工业网为核心、结合分散型 PLC 与工业服务器为核心的电气控制技术

目前上汽大众冲压线的控制系统主要是第二、三、四代技术,其中二、三代技术是 1995-2005 年年代的水平,这批压机由于使用时间较久、很多备件和技术面临淘汰和软件版本成旧等问题,造成新旧备件不匹配和软件冲突。大众公司内部计划大概五年后对所有控制系统进行更新换代,因此目前仍需要延续现有工控机控制系统的使用寿命,延长投资周期。所以大量技术、设备备件需要进行兼容匹配、技术升级和换代改造。

1.2 冲压中心生产线研究背景

工业产业内,软硬件升级是市场和提高生产力的必要之举,但是往往在升级后会遇到各种各样的问题。本项目旨在与上汽大众公司合作,研究解决存在于其冲压中心生产线上的工控机升级后的软硬件兼容性问题。该兼容性问题的出现的原因是冲压中心使用西门子公司 S5 系列 PLC(可编程控制器)做为控制部件,而现 S5 系列 PLC 的配套设备已停产,市场上已买不到备件。其用来替代升级的配套设备只能在 S7 系列 PLC 中组态,不能实现垂直升级(简单更换),该兼容性问题的本质是原有控制系统(西门子 S5 系列 PLC)与更新后的硬件备件(仅匹配西门子最新版 S7 系列 PLC)存在的无法通讯的问题。

上汽大众在更换备件时遇到了工控机硬件升级后的软件兼容问题,这是行业内许多工业公司会遇到的问题,也是我们项目所要研究的问题。

1.3 S5 系列 PLC 不兼容新配套设备的现有解决方法

在上世纪 90 年代的中期,随着西门子公司的战略调整以及电子产品的更新换代等原因,S5 系列的 PLC 设备以及其配套设备不断地被淘汰,一点点被 S7 系列的新型 PLC 控制系统以及相对应的新型配套设备所取代。因此,现在 S5 系列 PLC 的配套设备多已停产,不但供应周期长供货渠道单一而且价格昂贵,甚至许多已经完全采购不到有价无市,一旦生产线上的配套设备出现故障的话,将没有可用的备件进行替代,严重影响生产,造成巨大经济损失。可见,S5 系列 PLC 配套设备停产,新型配套设备不兼容不可替换的问题成为仍在使用的 S5 系列 PLC 的用户一个极大的困扰。

基于这样的原因,很多使用 S5 系列 PLC 控制系统的企业只能被迫得将 S5 系列 PLC 控制系统升级到最先进的 S7 系列 PLC^[1]。但这种控制系统全面升级改造的方式往往会造成较长时间的停产,企业造成巨大的经济损失;并且成本太大,在硬件上还需要重新搭建和配置生产线。

另外在升级改造中的还有软件方面的难点:西门子 S5 控制程序的升级十分复杂,因为 S7 编写程序的软件对 S5 的程序并不兼容,S5 的程序在没有更改处理过的情况下并不能直接移植到 S7 系统中运行,S7 并不是 S5 的简单升级。这时候就需要对 S5 的程序进行转换,然而尽管西门子专门提供了 S5 程序移植到 S7 中的转换工具,但是通过 STEP-7 中对“Converting S5 files”功能的使用后所获得的转换程序依旧不能直接使用,仍然会出现各种问题。使用此工具的自动转换的程序正确率通常为 70% 左右,其余的 30% 则需要进行人工检查修改了。转换过程中,错误的部分会有提示,根据提示,找到错误的地方后,对照相应的 S5 程序,用 STEP 7 的语句重新编译即可^[2]。很明显,转换程序时工作量较大,需要投入大量精力为新的控制系统校对和重新编写新的运行命令,不仅可能存在的 bug 多,还耗时耗力。

^[1]刘海明,佟子平. 浅谈中密度板厂西门子 PLC 系统 S5 升级为 S7 的可行性[J]. 农村实用科技信息,2009,(07):73-74.

^[2]马俊. 浅析西门子 S5 控制系统升级为 S7 控制系统的方法[J]. 新疆有色金属,2013,(S2):173-175.

在硬件和软件都完成各自所需的升级之后,我们还需要将其合并,并最终确认软硬件部分能否有机的结合在一起。

因为作为一个仍在生产的企业,设备的更新换代不可能在连续的时间下进行,因此这种情况通常通过以下的方式来减少长时间的停产和其带来的经济效益的损失:首先将 S5 系列 PLC 与 S7 系列 PLC 的输入并联, S7 的输出则不引入原系统,同时运行 S5 和 S7 并检查 S7 程序的运行是否与 S5 原控制系统一致。然后,在确认 S7 程序运行结果正确后,再将 S7 的输出引入原系统,取代原 S5 控制系统的输出,以此通过 S7 系列 PLC 控制整条流水线。在确保新的 S7 系列 PLC 运行的稳定性之后,最后再将 S5 系列 PLC 拆除³。至此就完成了 S5 系列 PLC 控制系统的升级。

1.4 新性配套设备兼容性研究方向

目前国内大多数公司在遇到 S5 系列 PLC 的配套设备已停产无法采购或者采购成本高昂时,通常以认为旧的 S5 系列 PLC 已经逐渐被淘汰升级 S7 系列的控制系统是唯一的选择,因此多采用直接升级控制系统至最新版的方法,而选择了放弃继续使用依旧稳定的 S5 系列 PLC,但这一方式势必会造成企业停产、与旧硬件不兼容、更新成本太高、周期太长等问题,然而业内也并没有更好的解决方案。因此在不停产、不改变原有西门子 S5 系列 PLC 系统的情况下实现对新形配套设备的控制,延续生产线使用寿命就成为了本项目研究的重点。

³[3]李劲雷,范铁彬. PLC S5 系统升级到 S7 系统的方案[J]. 电气时代,2002,(09):94-95.

第二章 设计规范与概念方案

2.1 设计规范书

课题组确立了此次上海大众汽车有限公司所遇到的具体问题,旨在研究解决冲压机控制系统中的上述问题。分客户的需求后并将其转化为课题组所需的设计规范,该设计规范重点在于解决大众公司生产的实际问题,以及满足大众公司的更多需求。

2.1.1 客户需求

上海大众汽车公司对项目提出了如下需求:

- (1) 深入研究开发现场总线网络组态协议 (GSD 配置文件), 找出针对 S7 系列 PLC 所写的 GSD 组态文件在 S5 系列 PLC 下不兼容不能写入的原因, 以实现升级后的第三方产品部件能够兼容早期的 S5 系列 PLC 系统。
- (2) 如无法简单通过 GSD 文件开发解决通讯问题时, 可用 S7 系列 PLC 控制新阀组, 但要实现原有 S5 系列 PLC 与新用 S7 系列 PLC 之间数据通讯和控制。
- (3) 上汽大众已经根据相关文献, 实现了单 DP-DP 耦合器(64 位) 在两个 S5 控制器(64 位) 之间的通讯, 理论上实现 S5(64 位)向 S7(128 位) 的双向通讯需要两个耦合器并联使用, 但是耦合器成本较高使用方式已经组态繁琐, 因此目标使用单个耦合器实现双向通讯。



图 2-1 停产的旧阀组



图 2-2 替代的新阀组

2.1.2 设计规范

根据客户需求，本项目设计规范如下：

- (1) 作为第三方重新开发新设备相应的 GSD 文件，实现新阀组对原有 S5 系统的兼容，并给出之前 GSD 组态文件不兼容的原因。
- (2) 对现有的 CPA-3-T1/T2 生产线进行局部改造，通过主从站的方式将 S7 接入 S5 的控制网络，从而控制新阀组。
- (3) 在目前实现了单 DP-DP 耦合器(64 位) 在两个 S5 控制器(64 位)之间的通讯的基础上，实现使用单个耦合器完成 S5(64 位)向 S7(128 位) 的双向通讯。

2.2 概念设计

目前课题组研究的阀组问题集中在西门子 S5 系列 PLC 在相关配件停产的情况下，如何能与新型 CPX 阀组等设备进行通讯。课题组按照公司需求，提出如下三种概念设计以及相关方法。

2.2.1 编写开发兼容 S5 的 GSD 组态文件

由 FESTO 公司提供的新阀组自带匹配 STEP-7 的 GSD 组态文件，对于大众公司现有流水线上的 S5-PLC 系统兼容性差，FESTO 公司无可组态文件提供，西门子公司没有相关支持。

因此，课题组查阅相关文献，通过深入研究 GSD 文件相关配置要求，研究制作 S5 对应的 GSD 文件组态网络，即可使得新阀组直接加入 S5 系列 PLC 控制网络。

2.2.2 建立 S5-S7 主从站配置

新型号阀组，通过自带匹配 STEP-7 的组态文件，可加入 S7 系列 PLC 控制网络却不能兼容 S5 系列 PLC 控制系统，因此课题组可以通过新配 S7 系列 PLC 与原 S5 系列 PLC 控制系统通过 PROFIBUS-DP 组网，通过 S5 作为主站，发出控制信号给 S7 从站，再借由 S7 系列 PLC 对于新阀组进行操控，来达到新阀组加入 S5 控制系统的目的。

现 S5 系统通过 IM-308C 接口模板 IM-308C 作 Profibus 主站。IM-308C 接口模板管理 Profibus 数据通信，可连接多达 122 个从站，现有系统已经外接很多从站。该方案用 S7-200PLC 通过 EM277 模块做为 PROFIBUS 从站挂到 PROFIBUS-DP 网络上，再使 S7 作为下层 DP 网络主站控制从站新型号阀组。

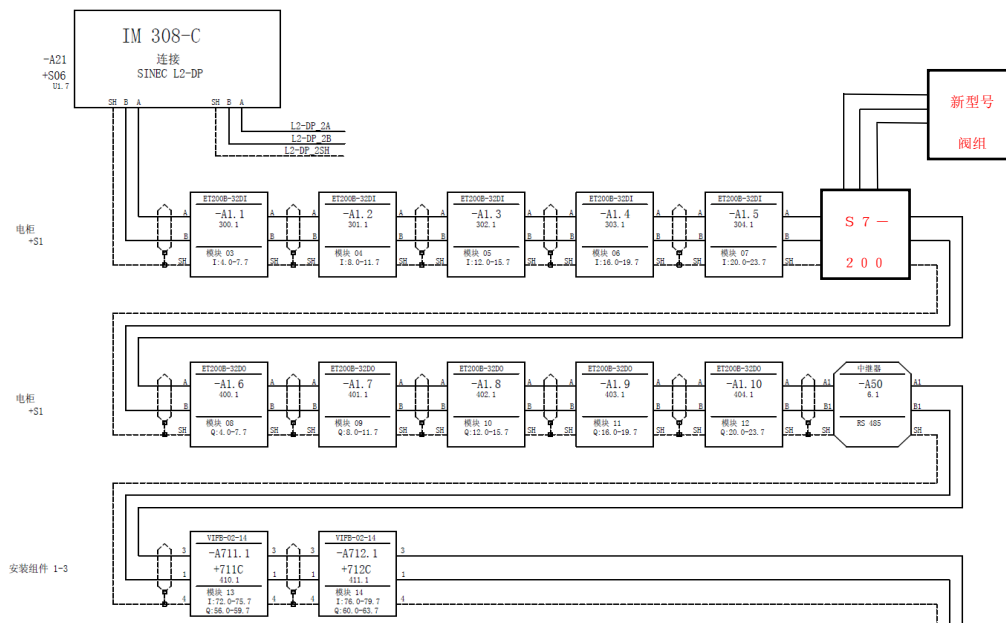


图 2-3 S5 和 S7 主从站组态示意图

2.2.3 建立简易的耦合器通讯

现有 S5 控制系统与新设备使用的 S7 控制系统同时作为主站，之间通过 DP/DP 耦合器实现 S5 与 S7 的双向通讯。目前上汽大众公司已经实现了单耦合器在 S5 与 S5 之间的通讯，然而 S5 支持的 DP/DP 耦合器数据传输最高位数是 64 位的，而控制新型号阀组需要 128 位，如果按该方案实施要用到两个 DP/DP 耦合器，非常繁琐以及复杂是大众公司不想看到的。因此课题组如果能研究出通过只使用一个耦合器来实现 128 位的传输，也不失为一个现实的设计方案。

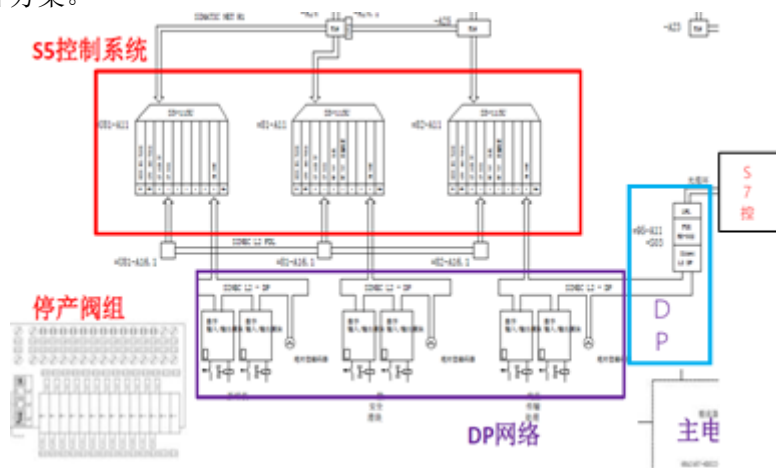


图 2-4 S5 和 S7 通过耦合器通讯示意图

2.3 概念设计的选择

课题组根据提出的概念设计方案，对照客户的需求以及方案的可操作性等对概念设计

进行了评估，并做出了最终的选择

2.3.1 编写兼容 S5 的 GSD 组态文件的优缺点

此设计方案优点：无额外设备需要购置，对整体的流水线影响最小，如果改写 GSD 兼容成功将极大节省新设备投入使用的周期，是对于上汽大众公司而言最优解。

此设计方案缺点：改写 GSD 文件难度大，因为 S5 系列 PLC 设备十分老久，现多用 S7 系列 PLC，网上 GSD 文件多由设备公司直接提供，网络上可供参考的 GSD 文件自行该写的教程几乎没有，现设备公司也多推荐使用 S7 系统，对 S5 提供的技术支持也非常少，改写需要研究学习大量 PROFIBUS-DP 网络原理，底层协议等等，改动难度大。

2.3.2 建立 S5-S7 主从站配置的优缺点

此设计方案优点：可行性高，在技术上有可供参考的类似项目，以后有新设备也可以直接加入 S7 的 DP 网络直接使用，可扩展性高。

此设计方案缺点：需要新添置 S7 作为中介，成本增加，组态复杂度也上升一个档次。

2.3.3 建立简易的耦合器通讯的优缺点

此设计方案优点：以 S7 系列 PLC 作为主站极大方便日后 S5 系列 PLC 全面升级更新换代。

此设计方案缺点：需配置 S7 以及 DP/DP 耦合器且耦合器的性能可能无法完全满足通讯需求，需要通过进一步优化算法等手段来实现，优化算法在学术界有相关文献提及思路，专业性强，比较复杂，可行性较低。

从以上的分析中可以看出第一个方案为最优秀方案，能完美满足客户需求，因此将编写兼容 S5 的 GSD 组态文件方案作为课题组的最终选择。而第二方案也能较好地实现客户需求并且有着很高的可行性因此将此作为课题组的保底方案。

2.4 本章小结

项目主要研究上汽大众冲压机床的软硬件兼容问题，该问题的本质是原有 S5 控制系统无法与新的为 S7 控制系统设计的配套设备更换部件通讯。为了延长使用寿命与投资周期，课题组要研究在不停产并且保持原有 S5 控制系统不变的情况下，对新更换部件实现控制。设计了三种概念方案，一是研究并重新编写兼容 S5 系列 PLC 的 GSD 组态文件，从根本上使之能识别新更换的部件并控制；二是在生产线上加装新 S7 系列 PLC 对新更换部件进行控制，以 S5 作为主站，S7 作为从站，实现间接控制。三是以单一耦合器的方式完成 S5 和 S7 之间的通讯，借此经由 S7 来控制新更换设备。其中以一方案作为最优方案为主要实现目标，并以二方案作为改造的保底方案。目前，行业内许多企业面对此问题或是拖延，或是停产升级，如能顺利完成一方案的设计与实现，研究清楚不兼容的原因，重新开发编写兼容 S5 系列 PLC 的 GSD 组态文件，将会有效改善产业升级进程，完成客户需求，且有巨大的推广前景。

第三章 profibus-DP 协议研究

Profibus 协议简介：

Profibus 是过程现场总线（process fieldbus）的缩写。Profibus 协议基于工业现场总线技术，主要应用在加工制造、过程控制、运动控制等邻域。profibus 是目前世界上通用的现场总线标准之一，以独特的技术特点、严格的认证规范、开放的标准得到了众多厂商的支持和不断的发展。采用 profibus 技术可以减少分布式输入输出设备所需要的电缆布线，在工厂设备的机械安装、配置和布线过程中大大降低了开销。

3.1 profibus-DP 协议结构

profibus-DP (Decentralized Periphery, 分散外围设备) 是 profibus 现场总线的一种，主要用于主站和远程 IO 从站的通讯。Profibus-DP 协议以 ISO/OSI 七层参考模型为基础，实现了第一层物理层，第二层链路层和第七层应用层。DP 协议还增加了一层用户层，主要定义了设备行规，规定了在不同的设备种类和应用中各种功能该如何使用，如表 2-1 所示。为了简化通讯系统结构，提高协议的实时性和可靠性，第三到六层未使用。

表 3-1 profibus-DP 协议结构

层数	名称	内容
第八层	用户层	设备行规
第七层	应用层	DPV0/V1/V2
第二层	数据链路层	FDL 协议
第一层	物理层	RS485/光纤

Profibus 使用混合的总线控制机制，包括主站之间的令牌传递方式和主站与从站之间的主从方式，即令牌总线行规和主从行规。DP 主站与 DP 从站之间的通信基于主从原理，DP 主站按轮询表依次访问 DP 从站，主站与从站周期性地交换用户数据。DP 主站与 DP 从站之间的一个报文循环由 DP 主站发出的请求帧和由 DP 从站返回的应答或响应帧组成。

随着应用需求的不断增加，profibus-DP 功能扩展出了 3 个版本：

- (1) DP-V0：实现了基本功能，包括数据循环交换和诊断功能
- (2) DP-V1：用于参数赋值、操作、智能现场设备的可视化和报警处理等非循环的数据通信，允许用工程工具在线访问主从站。
- (3) DP-V2：包括同步从站模式和从站与从站通信等。

3.2 profibus 设备分类

DP 系统主要由三类不同类型的设备组成:

(1) 1 类 DP 主站

这类 DP 主站循环地与 DP 从站交换数据。典型的设备有可编程控制器 (PLC), 计算机等。1 类 DP 主站有主动的总线控制权, 可以在拥有主站令牌的时间内读取现场设备的测量数据和向执行机构输出数据。

(2) 2 类 DP 主站

这类设备主要是操作设备, 如上位机, 在 DP 系统初始化时用来生成系统配置。在系统运行期间, 2 类 DP 系统主要用于系统维护和诊断, 组态所连接的设备、评估测量值和参数, 以及请求设备状态等。

(3) 从站

从站在系统中被动响应主站的请求, 典型的从站有分布式 I/O 设备、变送器等。

3.3 profibus-DP 物理层

profibus-DP 物理层采用了 RS-485, 电缆铺设简单, 同时也能满足了高速传输场合的需求。RS-485 采用差分信号传输数据, 速率最高可达 12Mbps。在一段电缆中, RS485 最多允许连接 32 个设备, 如果有多于 32 个设备, 只需要加一个中继器即可。RS-485 采用半双工、异步的传输方式, 一个字符帧由 8 个数据位、1 个起始位、1 个停止位和 1 个奇偶校验位组成。

当电信号在线缆中传输时, 线缆中任何电阻或电容的改变将造成信号反射, 尤其是在高速信号传输时。信号反射会对原信号造成干扰, 甚至原信号会被完全破坏。为了解决这种问题, 可以在线缆两端加上终端电阻吸收能量, 减少信号反射的影响。大多数 profibus 总线连接器都集成了终端电阻, 网络连接好后, 关闭每个网段中间设备的终端电阻, 打开网段两头的终端电阻即可。

3.4 profibus-DP 数据链路层

现场总线系统的数据链路层包含 3 方面的内容: 媒介访问控制 (MAC), 总线链路控制 (FLC) 和总线管理 (FMA)。数据链路层将物理层的字符帧组合成报文, 为上一层提供可靠且统一的数据传输服务。

3.4.1 FDL 层服务

(1) 发送数据无需应答 (SDN, Send Data with No acknowledge)

SDN 服务主要用来发送广播或多播信息,所以无需其他站点应答,此功能主要用于任务同步和发送状态信息,比如同步模式和冻结模式。

(2) 发送数据需应答 (SDA, Send Data with Acknowledge)

发起者使用 SDA 服务向目标站点发送数据,接受无误的情况下,目标站点将发回一条确认信息。此服务应答者无法直接回复数据,主要用于主站之间的通讯。

(3) 发送并请求数据 (SRD, Send and Request Data)

发起者使用 SRD 服务向目标站点发送数据并请求回复数据,目标站点可以直接回复所请求数据。为了尽快回复请求,目标站点必须事先准备好数据。

(4) 循环发送并请求回复数据 (CSRD, Cyclic Send and Request Data)

CSRD 服务在最早的 profibus 系统当中使用过,如今 CSRD 服务已经很少使用了。CSRD 服务要求发起者不断地请求目标站点回复数据,这将大量总线数据传输负荷,且增加的负荷难以计算。

(5) 发送数据并请求群回复 (MSRD, Send Request Data with Multicast Reply)

MSRD 服务是相对于 SDR 服务提出的。从站被分为发布者和订阅者,主站向发布者发送一个 MSRD 报文,发布者收到后以广播报文的形式发送准备好的数据。所拥有的站点都可以收到数据,多个从站可以订阅这个报文从而接收数据。MSRD 服务是 DP-V2 的一部分,所以是可选的。

3.4.2 1/2 层管理功能 (FMA 1/2, fieldbus management of layers 1 and 2)

FMA 1/2 主要包含两种服务,本地服务 (local services) 和站点之间服务 (inter-station services)。本地服务共有 5 个功能:重置、设定值、读取值、事件处理、激活/不激活服务存取点 (SAP, service access point)。事件处理可以通知用户在 1/2 层发生的错误,典型的错误有地址重复、时间超时等。服务存取点可以将 FDL 层服务细化,在 DP 协议的应用中, SAP 可以指定使用哪些服务,比如主从站循环数据交换、主从站非循环数据交换、主站与主站数据交换、从站地址设定等, SAP 服务虽然多发送了一个字节的数据,但可以降低总线通信中出错的可能性。站点之间服务有三种: (1) Ident, 用户可以查询软硬件的版本号。如今的站点很少支持此服务; (2) LSAP, 此服务可以查询网络上站点的 SAP 值 (3) Live-list, 此服务可以查询网络上所有的活动站点。

FMA 1/2 可以设置或查询的参数非常多,比较典型的是最大、最小回复时间。当目标站点回复时间超出最大或小于最小回复时间时,管理服务将会报错,用户可以选择重新发送等方式处理。

3.4.3 介质访问控制 (MAC, medium access control)

总线是通信共用的介质, MAC 服务是为了保证在所有时刻总线上最多只有一个站点在使用总线。Profibus 总线上的站点有主站和从站两种类型,主站可以在一个特定的时间内访问总线,总线访问权在主站之间传递,传递过程称为令牌传递 (token passing),主站拥有令牌即拥有总线访问权。从站只能在回复主站请求时使用总线,这就是主从通信方式。profibus

FDL 层使用了主从通信和令牌传递两种方式来实现总线访问的控制。

总线访问控制中最复杂的情况之一是在已经运行的总线上加入或移除站点，为此，总线上消息传递的机制需要精心的设计。在 DP 网络运行期间，每个主站需要知道它上下两个站点的地址，所以主站可以知道可以从哪个站点得到令牌，令牌使用完后传递给下一个站点。这些参数都是每个主站自己保留的，并随着 DP 网络的运行而动态地变化。

然而，如果主站直接将令牌传递给下一个主站，新加入 DP 网络的主站完全没有机会得到令牌，完成不了令牌的功能。而如果在每次令牌传递时都检测 DP 网络中是否存在新加入的主站，消耗的时间又是 DP 网络难以接受的。PROFIBUS 采取的方案是：检查当前主站到记录的下一个主站之间的地址是否有新加入的主站。这样，检查整个 DP 网络的时间就被分摊到每次令牌传递的时候，大大降低了检查新主站加入的时间消耗。这样，可以将一个站点插入到 DP 网络或从 DP 网络中移除，同时不必要打断系统其他部分的通信。

虽然令牌传递机制非常完善，但仍然有令牌丢失的可能性，这个时候在 DP 网络上地址最低的主站就会生成令牌，这个过程与最开始建立 DP 网络时令牌生成的过程相似。检测令牌丢失的方法是检测总线的空闲时间。由于令牌丢失后，没有站点可以发起主动的查询，总线必然会出现无通信的情况，因此当总线上没有通信超过一定的时间时，主站就会认为令牌丢失，需要重新生成。为了防止多个主站同时发起令牌生成，每个主站根据自己的地址设定不同的空闲检测时间，地址越小检测的时间越短，这样就能保证令牌总是由主站中地址最小的一个生成的。

3.4.4 错误处理

虽然 PROFIBUS 使用了抗干扰能力很强的 RS485 作为物理层传输数据，但干扰并不能完全被排除，还可能存在信号反射、时钟不同步、屏蔽线破损等等干扰。由于现场总线对可靠性要求极高，还需要在通信过程中检测和排除出现的干扰。

UART 可以通过奇校验检测到一些字符帧的错误。要想出现一个不被检测到的错误，一个字节必须有至少两位都出错，奇校验的方法可以检测到 50%的数据传输错误。

为了实现更好的错误检测，PROFIBUS 使用了和校验。和校验将报文中目标地址、源地址和功能码三个字节相加，所以除非两个字节中同时出现两位的错误，其他的错误都能被检测出来，这样错误检测就更加严格了。当一个错误被检测出来，整个报文就会别舍弃，防止错误的数据传输。

3.5 循环数据交换

Profibus-DP 网络设计的目的是主站与多个远程从站能够快速可靠地交换数据，即实现循环数据的交换。在数据交换前，DP 主站必须设置好，知道自己控制的从站有哪些，哪些数据将会交换，因此，DP 主站需要从站特性的描述，即通用的设备描述文件：GSD (general station description)。使用配置软件读取 GSD 组态文件后，用户可以使用可视化的方式配置好 DP 网络写入主站。如果配置正确，DP 网络会成功运行起来，完成初始化后进入循环数据交换阶段。循环数据交换建立在 FDL 层之上，以报文的形式完成初始化、数据交换、诊断等一系列过程。

3.5.1 DP 从站初始化

DP 从站有 4 种状态：上电/重置、等待参数、等待确认、数据交换，从站的状态机如图 2-2 所示。

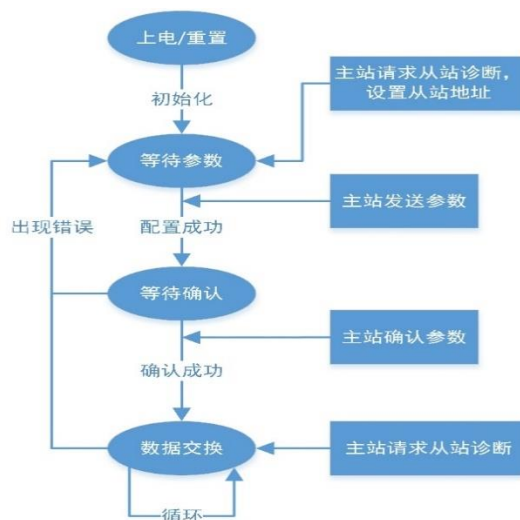


图 3-1 从站状态机

从站上电后，主站会发送一次诊断请求，如果从站回复则代表从站可以运行，从站处于等待参数的状态。之后主站会向发送配置软件读取从站 GSD 组态文件并设置好的参数，从站收到参数后，没有错误则进入等待确认的状态。之后主站再次发送参数，从站收到后确认，这一步是为了降低通信出错的可能性。之后主站再次请求从站诊断，从站确认无误后主从站即可开始进行循环数据交换。整个过程中出现任何问题从站立即回到等待参数的状态，再次按照上述流程完成初始化过程。DP 从站的初始化过程中有多次的诊断和确认，大大提高了通信的可靠性。

从站初始化中最为关键的部分是参数设置。从站参数分为两部分，一是系统参数，比如最小回复时间、从站 ID、从站通信状态等；二是自定义参数，生产厂商在从站 GSD 组态文件里以模块的方式提供，用户在配置软件里选好相应的模块和设置后，软件自动生成自定义的参数，写入到主站，之后主站将自定义参数与系统参数一起发送给从站。

主站设置好参数后，还需要确认从站参数配置正确。除了基本的参数设置，主站还会确认从站的输入输出位数与 GSD 组态文件中配置的一样，从而保证最终的循环数据交换能够正确运行。

3.5.2 诊断

工业现场总线对通信的可靠性要求非常高，profibus-DP 网络提供了完善的诊断功能，DP 主站可以在任何时候查询 DP 从站的状态。除了标准的诊断功能，厂商还可以在从站 GSD 组态文件中添加设备相关的诊断要求。

在从站初始化过程中，任何一个步骤的开始和结束都需要进行一次诊断。在正常的循环数据交换中，DP 从站回复的数据报文处于低优先级，而当有诊断要求出现的时候，在下次报文中 DP 从站的回复将处于高优先级。诊断的内容有很多，如从站是否存在、从站是否准备好数据、从站是否处于同步模式、从站参数是否需要重置等等。诊断的报文往往只有几个字节，完善的诊断信息可以在配置软件中查看，除了标准诊断信息，配置软件也可以读取 GSD 组态文件中厂商定义的诊断信息。这种方式即保证了通信的可靠快速，同时也

为用户提供了可以理解的诊断信息。

3.5.3 全局控制报文

DP 网络初始化完成后，除了主从站之间正常的循环数据交换，还存在一些特殊的情况，这些情况都是通过全局控制报文处理的。一种情况是从站停止，没有输出产生。这种情况下主站需要马上清除主站中该从站输出的镜像，以防使用了错误的的数据。另一种情况是主站与多个从站之间的输入或输出需要同步。虽然 DP 网络的通信速度可以很高，但多个从站接收到数据的时间可能需要严格的一致，这种情况下需要用到 DP 网络的同步模式。同步模式下，DP 主站在发送完数据到多个从站后，从站并不马上采用该数据，而是等待主站发出全局控制报文后再采用。这种方式可以保证从站之间收到数据的时间完全一致，否则在从站很多的情况下，最先收到数据的从站与最后收到数据的从站接收时间可能无法满足要求。同理，DP 网络还有冻结模式，这种模式是为了保证主站接收多个从站数据的时间是严格一致的。

3.5 结论

经过对底层 DP 协议的研究，可以得出的结论是：DP 网络运行时并没有 S5 或 S7 系列 PLC 的区别。S5 与 GSD 组态文件的兼容性问题并不在于 DP 网络本身，GSD 组态文件中所有的配置都没有具体指定 PLC 的类型。因此，兼容性问题应从其他地方寻找原因。

第四章 主从站解决方案

基于对底层协议的研究,查阅相关文献后,课题组认为可以通过 PROFIBUS-DP 通讯,配置 S5 与 S7 的主从站结构,从而实现 S5 对新阀组控制,作为中间方案解决兼容性问题。

在现在的工业生产中,PLC 之间的主从站通讯已经是一项比较常见的通讯方案,比如 S7-300 间的主从站通讯,甚至可以有总线并联等操作。在《基于 Profibus-DP 的 S7-300 主从站通信系统...》⁴一文中,作者不仅将 S7-300 作为主站去控制一个 S7-300 从站,还在主站上并联了两条 DP 线,其一直接接现场电气设备,其二接远程 I/O 站(如 ET200 等),再接另外的电气设备。虽然多线并联,但是主从站通讯十分稳定,能够很好的满足不同设备的控制需求。见图 4-1:

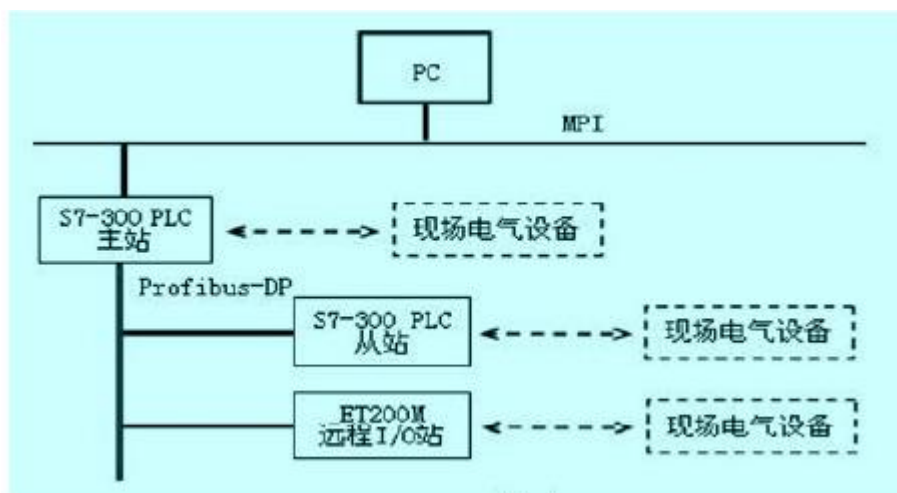


图 4-1 《基于...》一文中出现的多线并联主从站结构

此外西门子官网技术支持中心也给出了一些指导,包括《DP 主站为 S7-300/400 时...》⁵一文中,该案例恰巧与大众公司案例相反,是为了以最新的控制系统与旧的设备通讯。文中将 S7-400 作为主站, S5(接 IM308C)作为从站, S5PLC 控制系统再控制旧设备,起一种过渡作用。

由此受到启发,课题组可将 S7PLC 控制系统作为中转站控制新阀组,而 S5 作为主站与 S7 从站连接,从而完成 S5 PLC 控制系统与新 CPX 阀组的通讯。

⁴ [4]曾一新. 基于 Profibus-DP 的 S7-300 主从站通信系统实训装置的设计与实现[J]. 自动化技术与应用,2014,(11):84-86+89.

⁵ [5] 西门子.DP 主站为 S7-300/400 时,如何在 PROFIBUS DP 上将 S5(带有 IM 308-C)作为 DP 从站? [EB/OL]. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/6556876>

4.1 主从站方案简介

如图 4-1 所示，课题组计划以 S5-115U 为主站，插入 IM308C 模块，通过 IM 308C 带有的 DP 接口连接 S7-319 3PN/DP，在这一 PROFIBUS 子网上实现双向通讯。同时 S7-319 3PN/DP 又以正常的 I/O 接口方式连接控制 CPX 阀组。这样一来，S7-319 3PN/DP 便作为中转站，完美将本不兼容的 S5-115U 与新 CPX 阀组连接在一起，实现数据通讯。

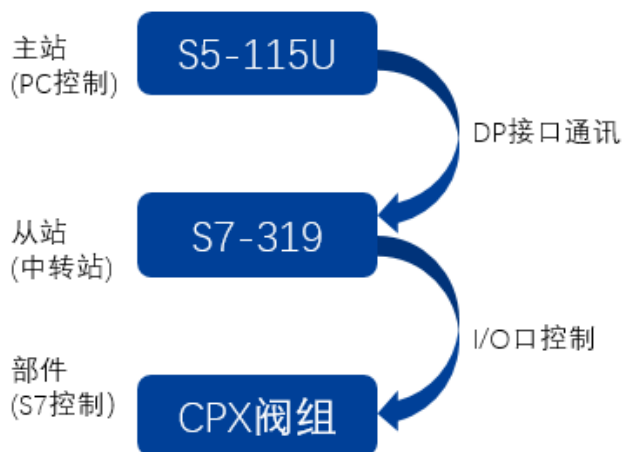


图 4-1 主从站方案概念图

主从站的设置主要是通过 COM PROFIBUS 5.1 以及 SIMATIC Manager（STEP-7）进行的。其中，COM PROFIBUS 5.1 是由西门子在上世纪 90 年代开发，和 STEP-5 一起专门作为 S5 系列 PLC 的组态、编写软件，主要功能包括组态、配置、在线诊断等等。该软件最新版本是在 2007 年更新，此后西门子公司将主要精力放在 S7 系列 PLC 的研发推广中，该软件也与时代有所脱节，无法使用现工业中常用的工业以太网等接口。在 COM PROFIBUS 5.1 中，组态文件通过导出到存储卡的方式对 S5 进行控制，再使用 STEP-5 软件编写子程序读取传输数据。而 SIMATIC Manager（STEP-7）则是西门子公司最近以来一直在大力推广的 S7 系列 PLC 的组态软件。实验中采用网线直接连接 PC 的方式，对 S7 PLC 进行在线的配置、编写子程序等。两种软件图形操作界面相似，下为主从站方案具体实施步骤。

4.2 主从站方案实施步骤

学界此前已有对 S5、S7 之间通过 PROFIBUS-DP 接口进行通讯的案例⁶。在该论文中，宝钢公司在升级除尘系统后，新增设备如刮板、泄灰阀等不兼容于旧 S5 PLC 控制系统。这与大众公司遇到的问题是十分相似的，宝钢公司的做法是在 S5 PLC 机组中插入 IM-308C 模块为其提供 PROFIBUS 接口，通过 PROFIBUS 电缆将 S5 与 S7 相连接，在 S5、S7 组态软件中进行相应设置，从而实现了工业以太网→S5→S7→新设备的控制链。

⁶ [6]胡桂星. S7 与 S5 PLC 的 PROFIBUS 通讯解决方案[J]. 自动化技术与应用,2011,(12):47-49+61.

宝钢公司对 S5-115/H 与 S7-315 2DP 的主从站配置，课题组参考该论文与西门子技术支持网站的指导，在大众实验室中对 S5-115U 和 CPU319-3 PN/DP GSD v3.2 进行了如下实验：

4.2.1 COM PROFIBUS 5.1 中对 S5-115U 的组态配置

- (1) 从设备目录文件夹中插入 S5-115U CPU，核对购买序列号后将其作为 DP 主站，地址标为 1。
- (2) 由于 COM PROFIBUS 软件中没有自带所需 CPU319-3 PN/DP GSD v3.2，需要从西门子官网进行下载，并安装到软件 GSD 目录中。
- (3) 从设备目录文件夹中选择 CPU319-3 PN/DP 作为 DP 从站，地址标为 2，并双击其图标进行组态。
- (4) 点击“Configure”按钮对 CPU319-3 PN/DP 进行配置，分别给该从站分配一个 8DI 的输入和 8DO 的输出，地址自动分配即可。此处地址需要与后一部分中 STEP-7 组态输入输出地址相匹配，否则会使通讯失败。

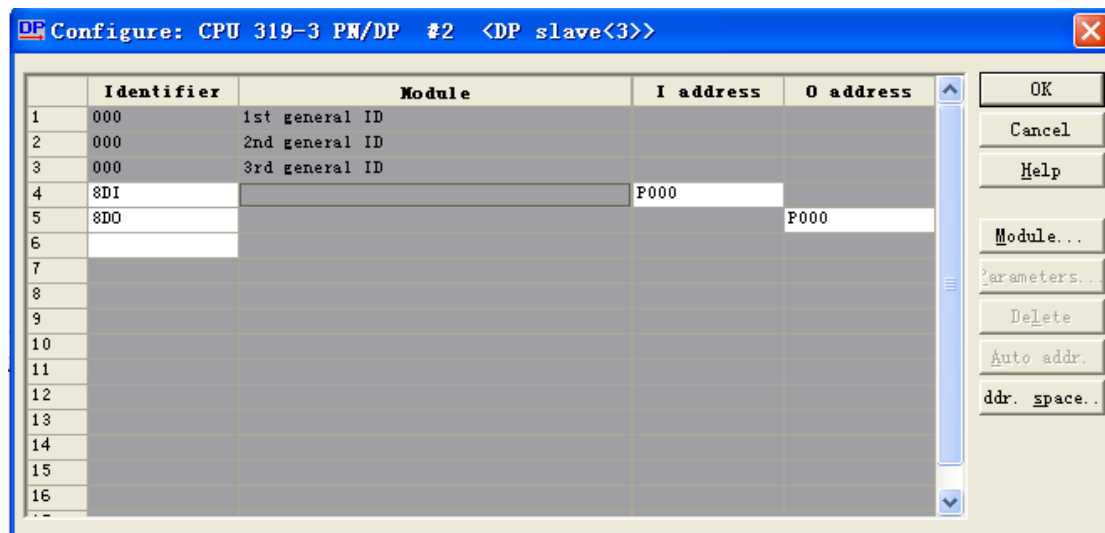


图 4-2 CPU319-3 PN/DP 从站配置

- (5) 点击菜单栏中“Configure”配置 PROFIBUS 子网的波特率及地址等参数，此处全部使用默认值 1.5 Mb/s。
- (6) 选取主站图标，在菜单栏中选择导出至西门子专用 memory card，导出完毕后将 memory card 插入 S5 PLC 机组上等待运行，至此，S5 部分配置完成。

4.2.2 STEP-7 中组态 DP 从站 (CPU319-3 PN/DP)

- (1) 在 STEP-7 中新建一个项目，插入 SIMATIC S7 300 PLC。

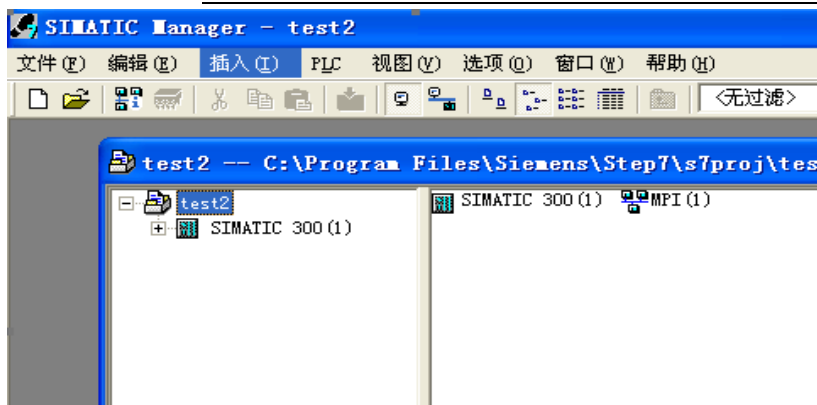


图 4-3 STEP-7 插入 S7-300 站点

- (2) 双击 “硬件”，打开硬件设置(HW Config)。

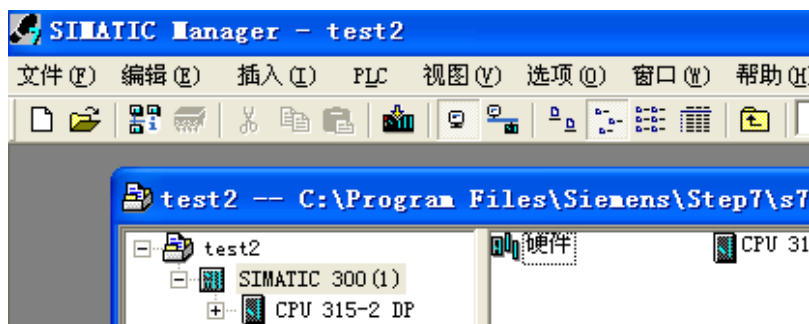


图 4-4 STEP-7 中打开硬件设置

- (3) 在 硬件设置中，插入空轨道、电源模块和 CPU319-3 PN/DP，核对序列号和版本。
(4) 双击 CPU 的 DP 接口对其进行配置，在工作模式窗口中选择 DP 从站。这样一来便与上一部分 COM PROFIBUS 中的从站配置相匹配，是主从站通讯的关键所在。

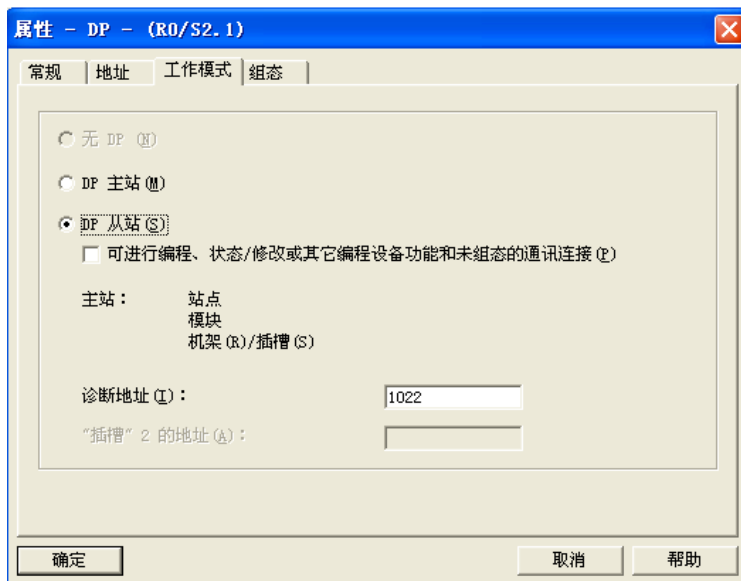


图 4-5 在 DP 属性中选择 DP 从站工作模式

- (6) 在“组态”选项卡中新建输入地址 I 0 与输出地址 O 0，长度定位 1 字节，此处字节与上一部分 COM PROFIBUS 中的 8DI/8DO 相符合,且地址要与 S5 设置中的地址相同。

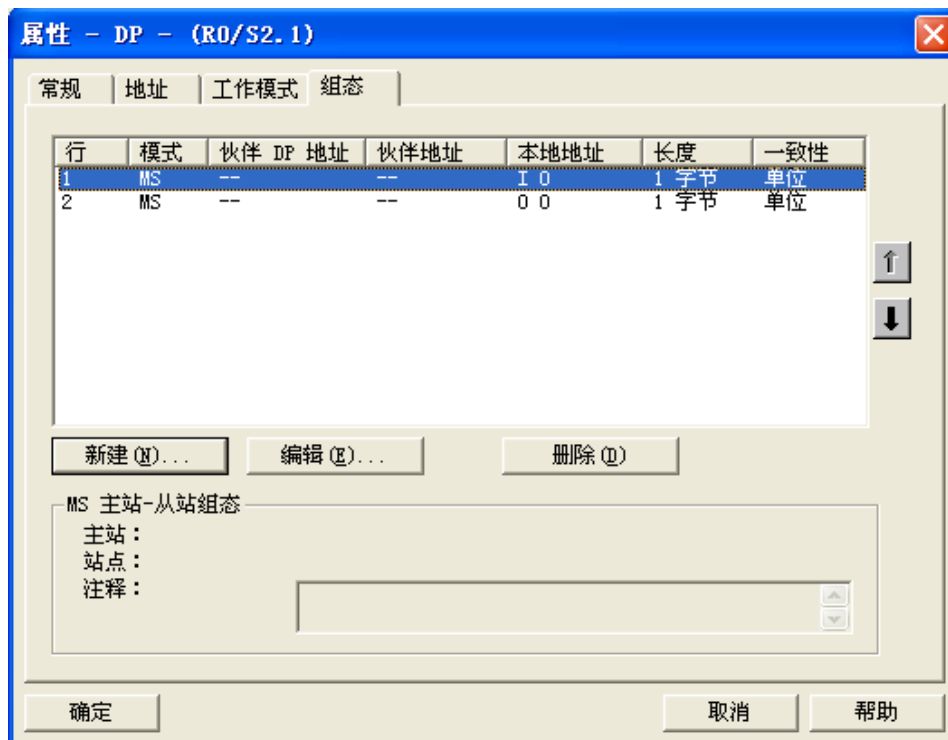


图 4-6 STEP-7 中配置 CPU319-3 PN/DP 输入输出地址

- (7) 在“常规”选项中点击“属性...”按钮,手动新建一个 PROFIBUS 子网进行配置,其传输率与上一部分 COM PROFIBUS 中一样设为 1.5Mb/s。

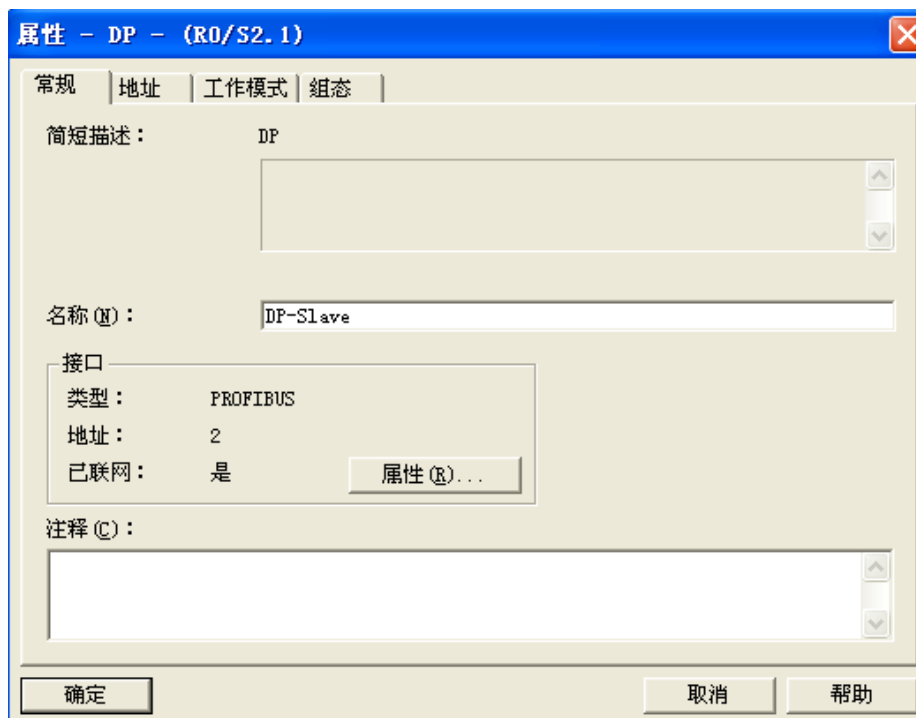


图 4-7 STEP-7 中配置 PROFIBUS 子网

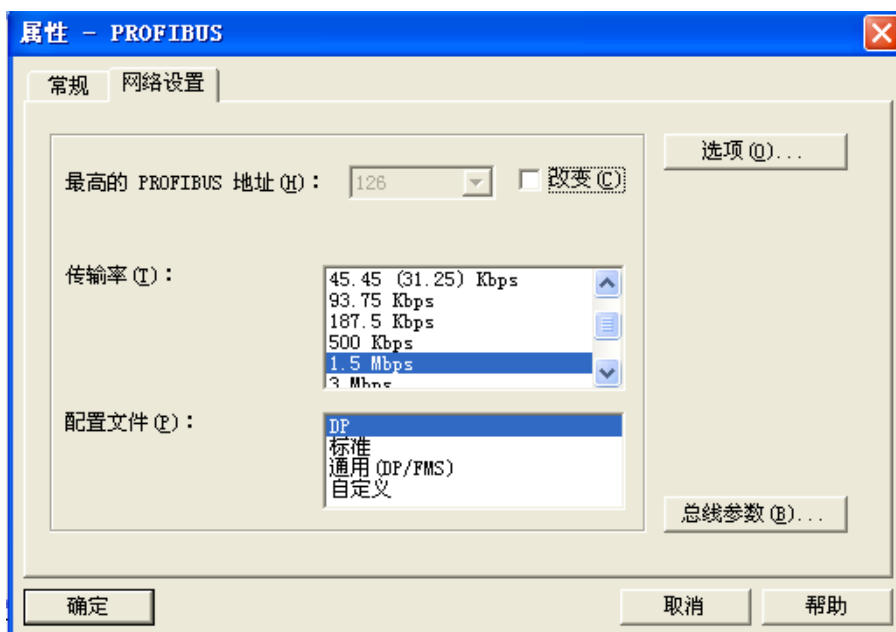


图 4-8 STEP-7 中配置 PROFIBUS 子网传输率等

完成硬件设置后进行编译，将组态文件在线下载到 S7 PLC 中，这样一来 S5、S7 的主从站通信就配置好了。S7-319 3PN/DP 与 CPX 阀组则通过 I/O 口正常连接，在此不作详细叙述。这样一来，只需要在 S7 中写入运行相应读取程序，便可实现阀组到 S5 PLC 的传输，实现了 S5 对阀组的控制。

4.3 主从站方案结论

经过上述步骤配置后，课题组同时启动运行 S5-115U 和 S7-319 3PN/DP，并通过 DP 接口将两者连接起来，启动后两者运行正常，说明主从站通讯成功。而 S7-319 3PN/DP 控制 CPX 阀组则是常规操作，也没有报错，证明实验是成功的。至此，主从站解决方案作为之前比较看好的中间方案是完成了的。

然而，由于项目进度、安装限制等原因，课题组并没有将该方案实装在拆垛机上调试运行，而将接下来的主要精力放在 GSD 开发方案上。在工业实际中，主从站方案作为一种比较简易的中间方案有许多优点，但也存在不少限制。

主从站方案优点在于：1. 简易，虽然一般没有现成的操作指南，但配置 DP 主从站操作大同小异，一般能在 S7 上运行的设备都能够通过 S7 中转站与本不兼容的 PLC 实现通讯。2. 该中间方案可作为即时应急方案，能避免因紧急兼容性问题造成的停产、安全事故等问题。

而该方案存在如下限制：1. 成本问题，该方案需要购买作为中转站的 S7，如果有多台机床都要装上 S7 中转站的话，方案成本就很高了，如此长久解决兼容性问题性价比不高，只能起过渡作用。2. 由于工业中一般采用现场总线方式，在机床上加装一个中转站 S7 并接线，难度较高，冗余布线会造成短路等影响生产安全的问题。

第五章 GSD 协议研究

GSD 组态文件的研究与改写是课题组可选的另一种解决方案。简单来说，GSD (general station description) 文件可以看作是 DP 从站设备的身份证，里面记录了从站的相关必要信息，使得该设备可以被连接到总线系统中，而不管该设备是由哪个厂商生产的。课题组面对的问题便是升级后的第三方设备的 GSD 组态文件无法被较老的西门子 PLC-S5 所读取。为了解决这个问题，课题组对 GSD 组态文件的语句、语法、结构及其他相关问题比如 CPX 型阀组的物理及应用层面等进行了研究，并最终发现了问题所在，改写 GSD 组态文件成功解决了问题。

5.1 GSD 组态文件的语法规义

5.1.1 GSD 组态文件语句

GSD 组态文件是一个记录从站设备相关信息的数据库。总的来说，GSD 组态文件是由关键词 (keyword) 和参数 (value) 两者配合形成的，关键词代表了从站的某种特性，参数是对关键词的规定。按照语句的复杂程度，可以将 GSD 语句分为简单语句和复杂语句，简单语句即是通过参数值直接对关键词进行规定，复杂语句则具有一定的结构，通过一个关键词对来包括了一系列简单语句，从而一次规定了多个关键词。以下分别为简单语句和复杂语句的例子：

```
Ident_Number = 0x059E
PrmText = 5
Text(1) = "fast"
Text(2) = "universal"
Text(3) = "precise"
EndPrmText
```

在以上的代码片段中，Ident_Number 所在行即为一个简单语句，它的含义是该设备的产品识别号为 1438。第二至第六行即 PrmText 与 EndPrmText 所围成的片段构成了一个复杂语句，它的含义也较为复杂，该代码段表达了以下含义：这是一个编号为 5 的文本参数，这个文本参数的值可能是 1、2、3，分别对应“fast”、“universal”、以及“precise”三个文本。

在一个 GSD 组态文件中，特别是一些较为复杂的从站设备，可能出现很多关键词和对应的参数。需要注意的是，在一个 GSD 组态文件中可能会有多种复杂语句，而且这些语句之间存在一定的引用逻辑关系，这在之后会详细介绍。

5.1.2 GSD 关键词的分类

前文提到，GSD 是对关键词的规定，这些关键词代表了一定的设备特性。对这些关键

词进行分类，有利于更好的研究和应用 GSD 组态文件。从不同的角度可以对关键词做出不同的分类。根据课题组的研究，可以从规范对象和必要性两个角度对 GSD 组态文件中的关键词进行分类。

(1) 从规范对象的角度

这是一般而言更常用的分类，规范对象指的是主站、从站等。根据 GSD 的官方编辑软件 GSDeditor 中的相关规定，GSD 组态文件中的关键词可以分为以下几类：

- 通用关键词：通用意味着所有的从站设备，不管具有何种功能、由那个厂商生产，都需要对这些关键词进行规定。一般而言都是一些较为基础的规定，比如协议类型、软硬件版本、支持的波特率等。
- 主站相关关键词：主要对主站进行了规定，包括主站、DP 扩展、DP-V2 的主站相关关键词。但事实上，正如前文所说，GSD 组态文件是对从站特性的记录，并没有提到主站，这是因为 GSD 组态文件中关于主站的部分被封锁了起来，用户是无法直接访问的。
- 从站相关关键词：这部分规范占据了 GSD 组态文件的大部分篇幅（对于一些小的 GSD 组态文件，该部分可能与通用关键词的规范篇幅相当），特别是一些复杂文件，比如课题组将要研究的 CPX 型阀组的 GSD 组态文件。这些关键词包括：站点类型、支持的最大模块数、和一些关键的关键词对等。除此之外，根据设备的类型，还可能会有 DP 扩展从站相关关键词、模块分配的从站相关关键词等。
- 用户自定义关键词：因为课题组研究的 GSD 组态文件不牵涉该部分，所以不做进一步探讨。

(2) 从必要性的角度

在 GSD 组态文件的众多关键词中，有些关键词是必须做出规定的，而有些是可选的。从这个角度对关键词进行分类有助于将 GSD 组态文件的研究拓展开来，更深一步的研究 GSD 组态文件更广泛的应用。从这个角度，GSD 组态文件可以分为以下四类：

- Mandatory (M): 该参数是必须的，在所有设备的GSD组态文件中都应为指定。
- Optional (O): 根据具体设备类型决定是否指定该参数。
- Default (D): 该参数是可选的，如果未被指定，则取默认值0。
- Group (G): 至少要指定该参数组中的至少一个参数。

为了能够深入的了解GSD的编写规则，为改写GSD组态文件打下坚实的理论基础，课题组对GSD组态文件的一些常见关键词进行了注释并按照必要性的分类角度总结在一起。

● 通用关键词

根据课题组的总结，通用关键词一共有40个，其中9个必需关键词，5个可选关键词，4个默认关键词，2个参数组（每组11个，共22个）。

表5-1 归类于Mandatory的关键词

关键词	描述	数据类型
GSD_Revision	GSD文档版本	Unsigned8
Vendor_Name	供应商	字符串
Model_Name	产品名称	字符串
Revision	设备的版本（文字解释）	字符串
Ident_Number	此种设备的识别号，由供应商向PNO申请得到	Unsigned16
Protocol_Ident	此设备的协议类型。 0: PROFIBUS	Unsigned8
	DP, 16-255: 制造商自定义	
Station_Type	DP设备类型。 0: 从站, 1: 主站	Unsigned8

Hardware_Release	设备的硬件版本	字符串
Software_Release	设备的软件版本	字符串

表5-2 归类于Default的关键词

关键词	描述	数据类型
FMS_supp	设备是否支持FMS/DP混合模式。1：支持，0：不支持	布尔型
Redundancy	设备是否支持冗余功能。1：支持，0：不支持。	布尔型
Repeater_Ctrl_Sig	指定连接器信号CNTR-P的电平。 0：不连接，1：RS485，2:TTL。	Unsigned8
24V_Pins	指定连接器信号M24V和P24V的含义。 0：不连接， 1：输入，2：输出。	Unsigned8

表5-3 归类于Optional的关键词

关键词	描述	数据类型
Revision_Number	设备的版本（1-63）	Unsigned8
Implementation_Type	DP从站使用的标准解决方案。比如Standard Software,Controller或者ASIC解决方案。	字符串
Bitmap_Device	在标准情况下，代表设备特征的位图文件的文件名	字符串
Bitmap_Diag	在诊断过程中，代表设备特征的位图文件的文件名	字符串
Bitmap_SF	在特殊运行模式下，代表设备特征的位图文件的文件名。	字符串

表5-4 归类于Group的关键词

关键词	描述	数据类型
9.6_supp	设备是否支持9.6k波特率。	布尔型
MaxTsdr_9.6	在9.6k的波特率下，回复请求信息所需的最大时间。	Unsigned8

● 从站相关关键词

常见的从站相关关键词共有47个。其中9个必需关键词，27个可选关键词

表5-5 归类于Mandatory的关键词

关键词	描述	数据类型
Min_Slave_Intervall	指定了两个从站列表周期之间最短时间间隔。（单位：0.1ms）	Unsigned16
Max_Module（模块化站点）	指定了模块化站点最大的模块数。	Unsigned8
Max_Input_Len（模块化站点）	指定了模块化站点输入数据最长的字节数。	Unsigned8
Max_Output_Len（模块化站点）	指定了模块化站点输出数据最长的字节数。	Unsigned16
Module	对应从站设备的槽。对应了物理上的输入输出具体功能点，如数字量或模拟量的I/O模块，空槽以空模块表示。	
Max_Diag_Data_Len	诊断信息的最大长度。（6-244）	Unsigned8

	指定了从站属于那个种类。0: 不属于下面所有种类, 1: 驱动器, 2: 切换设备	
Slave_Family	3: I/O, 4: 阀门, 5: 控制器, 6: HMI (MMI), 7: 编码器, 8: NC/RC, 9: 网关, 10: PLC, 11: 识别系统, 12: PA设备, 13-255: 保留。	Unsigned8
Jokerblock_Type (如果支持 Jokerblock)	指明了Jokerblock中数据的结构类型。0-31: 保留, 32-128: 制造商指定数据, 129: 用户参数, 130-255: 保留。	Unsigned8
Jokerblock_Slot (如果支持Jokerblock)	指明了Jokerblock对应的插槽编号。	Unsigned8

表5-6 归类于Optional的关键词之一

关键词	描述	数据类型
Min_Slave_Intervall	指定了两个从站列表周期之间最短时间间隔。(单位: 0.1ms)	Unsigned16
Max_Module (模块化站点)	指定了模块化站点最大的模块数。	Unsigned8
Max_Input_Len (模块化站点)	指定了模块化站点输入数据最长的字节数。	Unsigned8
Max_Output_Len (模块化站点)	指定了模块化站点输出数据最长的字节数。	Unsigned10
Module	对应从站设备的槽。对应了物理上的输入输出具体功能点, 如数字量或模拟量的I/O模块, 空槽以空模块表示。	
Max_Diag_Data_Len	诊断信息的最大长度。(6-244)	Unsigned8
Slave_Family	指定了从站属于那个种类。0: 不属于下面所有种类, 1: 驱动器, 2: 切换设备 3: I/O, 4: 阀门, 5: 控制器, 6: HMI (MMI), 7: 编码器, 8: NC/RC, 9: 网关, 10: PLC, 11: 识别系统, 12: PA设备, 13-255: 保留。	Unsigned8
Jokerblock_Type (如果支持Jokerblock)	指明了Jokerblock中数据的结构类型。0-31: 保留, 32-128: 制造商指定数据, 129: 用户参数, 130-255: 保留。	Unsigned8
Jokerblock_Slot (如果支持Jokerblock)	指明了Jokerblock对应的插槽编号。	Unsigned8
Freeze_Mode_supp	是否支持冻结模式。 1: 支持, 0: 不支持。	布尔型
Sync_Mode_supp	是否支持同步模式。 1: 支持, 0: 不支持。	布尔型
Auto_Baud_supp	是否支持波特率自动识别。 1: 支持, 0: 不支持。	布尔型
Set_Slave_Add_supp	是否支持Set_Slave_Add功能。 1: 支持, 0: 不支持。	布尔型

User_Prm_Data_Len	指定了User_Prm_Data的长度。	Unsigned8
Modular_Station	指定该设备是否是模块化站点。0：简单设备，1：模块化设备。	布尔型

表 5-7 归类于 Optional 的关键词之二

关键词	描述	数据类型
Fail_Safe	失效保护。1：在主站处于clear模式下时，从站接受的数据信息中没有数据，0：在主站处于clear模式下时，从站接受的数据信息是0数据。	布尔型
Modul_Offset	指定了在组态工具中组态的第一个插槽的编号。	Unsigned8
Diag_Update_Delay	更新诊断信息所需的循环数。（Delay = Diag_Update_Delay * Min_Slave_Intervall）	Unsigned8
Fail_Safe_required	从站是否需要失效保护。1：设备或模块请求失效保护，0：是否失效保护可根据具体情况选择。	布尔型
Jokerblock_Location	指明了Jokerblock应该被插入的位置（SAP）。0：Prm-Telegram，1:Prm-Telegram或者Ext-Prm-Telegram（当x_Prm_SAP_supp=1时），2：Ext-Prm-Telegram(当x_Prm_SAP_supp=1时)，3-255：保留。	Unsigned8
User_Prm_Data	指定User_Prm_Data的默认值。如果使用此参数，其长度必须与User_Prm_Data_Len一致。	八位字符串
Max_Data_Len	指定了模块化站点输入输出数据的字节数之和的最大值。（应最小为Max_Input_Len和Max_Output_Len的最大值，最大值为两者的总和。）	Unsigned16
Unit_Diag_Bit	用来集中显示DP从站的制造商特定状态和错误消息。（如果位值等于1，则可以在设备相关诊断字段中分配一个文本（Diag_Text））。	
X_Unit_Diag_Bit	用来结构化地显示DP从站的制造商特定状态和错误消息。（如果位值等于1，则可以在设备相关诊断字段中分配一个文本（Diag_Text））。	

表 5-8 归类于 Optional 的关键词之三

关键词	描述	数据类型
Unit_Diag_Bit_Help	定义了关于制造商特定状态和错误消息的额外信息。（Unit_Diag_Bit的附加信息，由组态工具发送给用户）	
X_Unit_Diag_Bit_Help	定义了关于制造商特定状态和错误消息的额外信息。（x_Unit_Diag_Bit的附加信息，由组态工具发送给用户）	
Unit_Diag_Not_Bit	用来集中显示DP从站的制造商特定状态和错误消息。（如果位值等于0，则可以在设备相关诊断字段中分配一个文本（Diag_Text））。	
X_Unit_Diag_Not_Bit	用来结构化地显示DP从站的制造商特定状态和错误消息。（如果位值等于0，则可以在设备相关诊断字段中分配一个文本	

	(Diag_Text))。	
Unit_Diag_Not_Bit_Help	定义了关于制造商特定状态和错误消息的额外信息。(Unit_Diag_Not_Bit的附加信息, 由组态工具发送给用户)	
X_Unit_Diag_Not_Bit_Help	定义了关于制造商特定状态和错误消息的额外信息。(x_Unit_Diag_Not_Bit的附加信息, 由组态工具发送给用户)	
Unit_Diag_Area	集中指定了设备相关诊断字段中某些区域对应的诊断信息。	
X_Unit_Diag_Area	结构化地指定了设备相关诊断字段中某些区域对应的诊断信息。	
UnitDiagType	描述Unit_Diag中的不同结构。可自定义, 0-127: 报警块, 128-255: 状态块。	Unsigned8
Channel_Diag	指定了通道相关诊断中某一种Error_Type (16-31) 对应的文本描述 (Diag_Text)。	
Channel_Diag_Help	定义了通道相关诊断的额外信息。(Channel_Diag的附加信息)	

表 5-9 归类于 Optional 的关键词之四

关键词	描述	数据类型
Info_Text	描述了关于设备或模块的额外信息。(组态工具将此信息额外发送给用户)	字符串
Max_User_Prm_Data_Len	指定了User_Prm_Data的最大长度。	Unsigned8
Ext_User_Prm_Data_Ref	给参数赋值。(指定了某个字节对应的参数编号)	
Ext_User_Prm_Data_Const	给某个(某些)字节预分配值。	
ExtUserPrmData	描述了用户数据User_Prm_Data的参数, 包括参数编号, 初始值, 取值范围, 对应的文本信息编号Prm_Text_Ref。	
Jokerblock_supp	从站是否支持Jokerblock。1: 支持, 0: 不支持。	布尔型
PrmCmd_supp	从站是否支持参数结构类型PrmCmd。1: 支持, 0: 不支持。	布尔型
PrmCmd_req	从站是否请求主站支持参数结构类型PrmCmd。1: 请求, 0: 不请求。	布尔型
Slave_Redundancy_supp	从站是否支持冗余功能。0: 不支持, 1: 从站没有冗余功能但可以连接到飞行主站, 2-7: 保留, 8: 支持, 9: 支持或者可以连接到飞行主站, 但若能够连接飞行主站, 则从站不支持冗余功能。10-255: 保留。	Unsigned8
Ident_Maintenance_supp	从站或模块是否支持I&M功能。(Identification&Maintenance功能在PROFIBUS guideline中说明。) 1: 支持, 0: 不支持。	布尔型
Time_Sync_supp	从站是否支持时钟同步。1: 支持, 0: 不支持。	布尔型

5.1.3 GSD 组态文件的逻辑

前文曾提到，GSD组态文件中有一些复杂语句，GSD组态文件的逻辑与结构就体现在这些复杂语句中，具体来说，GSD组态文件中的多个关键词对之间存在相互引用的关系。比如：文本参数（Prmtext）、用户数据（ExtUserPrmData）、模块（Module）三者之间相互引用，模块（Module）中某一位的数据可以决定用户数据（ExtUserPrmData）的某个参数值，而该用户数据的某个参数值改变之后又会决定文本参数（Prmtext）的值，层层紧扣，形成了GSD组态文件内部的逻辑和数据交换。

在举例分析其逻辑之前需要对几个重要的关键词对进行介绍，在课题组研究的CPX 型阀组的GSD组态文件中，以下三个关键词对占据了极大的篇幅：

（1）模块

是关键词对Module 和EndModule 所包围的代码段，可能承载了大量的数据信息。从物理层面来看，模块其实对应了一个插槽，具有特定的功能，比如数字量、模拟量的输入输出等。内部的代码段记录了该模块的介绍信息、数据信息等。课题组所研究的阀组的GSD 文件中，模块可以分为三类：现场总线模块、数字电子模块以及模拟模块。以下为阀组GSD 文件中的一个模块的代码段及相关注释。

表 5-10 模块代码段及注释

语句	注释
Module = "CPX -FB13: DP-Slave" 0x00 1	定义了模块的名称，ID（s），及参考编号
Info_Text = "PN 195740, CPX -FB13, order code F13: fieldbus node"	关于此模块的附加信息
Ext_Module_Prm_Data_Len = 5	模块的长度为5个字节
Ext_User_Prm_Data_Const(0) = 0xCA, 0x40, 0x02, 0x99, 0x00	从0字节开始的4个字节被预分配值
Ext_User_Prm_Data_Ref(2) = 92	对应文本参数的编号为92
EndModule	结束标志

（2）扩展用户数据

是关键词对ExtUserPrmData 和EndExtUserPrmData 所包围的代码段。一个用户参数一般具有一定的物理意义，但它本身是只记录了数值型的参数，因此需要与文本参数配合来传达一定的信息。扩展用户参数在GSD组态文件的引用逻辑中处于中间层，也是十分重要的一部分，和模块一样占据了极大的篇幅。以下为阀组GSD组态文件中的一个扩展用户参数的代码段及相关注释。

表 5-11 扩展用户数据代码段及注释

语句	注释
ExtUserPrmData = 92 "Channel 1: Monitor upper limit"	参考编号 92 及解释
Bit(1) 0 0-1	默认值 = 0, Min = 0, Max = 1
Prm_Text_Ref = 11	对应文本参数编号 11
EndExtUserPrmData	结束标志

(3) 文本参数

是关键词对PrmText 和EndPrmText 所包围的代码段。具体含义在前文举例说明复杂语句是已经介绍。该关键词的意义在于人机交互，即将设备内部之间交换的数据与某些文字对应起来，使得操作员明白设备的状态。以下为阀组GSD 文件中的一个文本参数的代码段及相关注释。

表 5-12 文本参数代码段及注释

语句	注释
PrmText = 11	该文本参数编号为11
Text(0) = "disabled"	0意味着disabled
Text(1) = "enabled"	1意味着enabled
EndPrmText	结束标志

GSD 文件的逻辑在于以上三种代码段之间的相互引用。模块内数据引用扩展用户数据，扩展用户数据又与文本参数相匹配。三者环环紧扣，形成了GSD组态文件之间的数据交换体系。具体来说，在上面举例的三个代码段中，模块中第五行表明了该模块引用了编号为92的扩展用户参数，而编号为92的扩展用户参数中，第三行又引用了编号为11的文本参数。在阀组的GSD组态文件中，有100多个模块代码段，693个扩展用数据代码段，90个文本参数代码段，数据的相互引用错综复杂。在课题组之后制作的GSD组态文件自动生成器中便应用了这些引用逻辑。

5.1.4 阀组 GSD 组态文件的结构

在理清了GSD组态文件的语法语义以及引用逻辑之后，需要进一步地研究特定阀组的GSD组态文件。该文件行数众多，但根据前文的理论基础，可以将该文件分为以下几个部分：

- 头部（head）：都是一些简单语句，从分类上包括了所有的通用关键词和少许简单语句构成的从站相关关键词，篇幅占文件全部篇幅的0.9%。
- 文本参数（prmtxt）：即前文提到的文本参数代码段，一共有90个文本参数，篇幅占文件全部篇幅的4.3%。
- 用户数据（userprmdata）：即前文提到的用户数据代码段，一共有693个用户数据，篇幅占文件全部篇幅的36.7%。
- 模块状态（modulestatus）：也是由复杂语句构成的，记录了模块的状态信息，又可以被称为诊断区域。篇幅占文件全部篇幅的2.6%。
- 模块（modules）：即前文提到的用户数据代码段，是GSD组态文件中最重要的部分。篇幅的全文占比达到了54.9%。
- 尾部（tail）：是DPV1代码段，经过排查对于解决问题没有大的价值。篇幅占文件全部篇幅的0.6%。

课题组不仅对阀组的GSD组态文件进行了分类，而且还对其中的每一个语句进行了详细注释，这与GSD组态文件的学习是同步进行的。通过以上的分类，课题组也对阀组的GSD组态文件多了更多的了解，对如何修改GSD组态文件产生了一些猜想（详见下文GSD组态文件的开发）。另外，本节对阀组GSD组态文件结构的梳理也有助于5.3节GSD组态文件自动生成程序的编写。

5.2 CPX 型阀组的研究

了解了GSD组态文件的编写规则并不意味着问题得到了解决，课题组需要对阀组的GSD组态文件进行改写。既然GSD组态文件是从站设备特性的记录，那么为了修改GSD组态文件就不可避免地要研究阀组的特性。令人欣慰的是，对阀组的研究给课题组带来解决问题的钥匙。

之前一直提到的大众公司的阀组准确来说是费斯托公司研发的CPX 终端阀组。CPX 终端阀组包括CPX 电器终端和阀组。CPX 电气终端是一种先进的模块化外围设备，它的功能是使阀组能够适应不同的应用，并且采用了模块化的结构，可以根据用户的需要进行配置，使用方便、节省空间。CPX 电气终端可以分为三个部分：总线节点模块、I/O模块、气动接口模块。

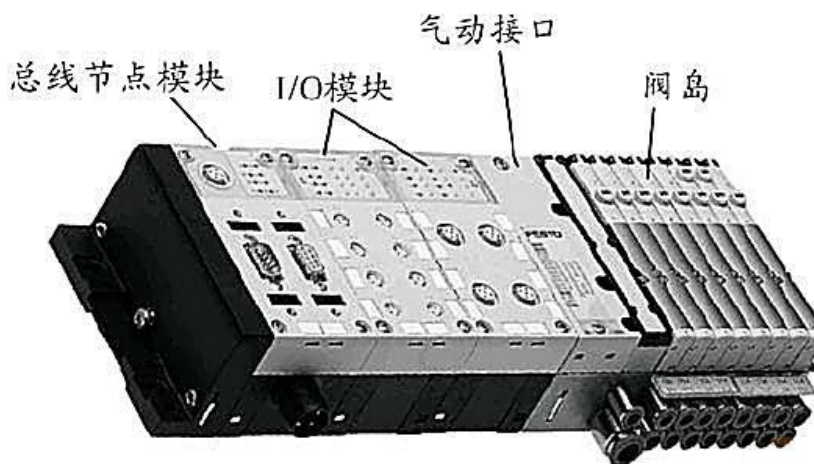


图 5-1 CPX 终端阀组结构

课题组了解到，在费斯托公司官网购买CPX 终端阀组时，需要自行勾选所需的模块，这些模块大致可以分为之前所说的三类（一些紧固件排除在外）。每一个模块都有独特的名称及订货号（课题组之后利用这些订货号来对模块进行识别）。因此课题组观察大众公司的阀组，发现该阀组是由五个模块品装起来的。这五个模块分别是：

表5-13 阀组上配备的模块

模块名称	类型	说明	产品代号
CPX -FB13	总线节点	总线节点模块	195740
CPX -M-16DE-D	输入模块	16位数字量输入	550202
CPX -8DE-D	输入模块	8位数字量输入	541480
CPX -8DA-H	输出模块	8位数字量输出	550204
VABA-S6-1-X1	气动接口	气动接口模块	543416
VABA-S6-1-X2	气动接口	气动接口模块	550663

由于阀组的GSD组态文件中存在了大量模块（超过了100个），而经过之前的分析，一个阀组设备只需要几个模块就足够了。因此课题组自然而然的想到新阀组的GSD组态文件的问题在于过多的模块（严格来说并不是这样，具体原因见本文其他章的分析）。于是课题组将GSD组态文件中的其他模块全部删除，并尝试用S5读取该文件，结果令人满意：S5可以将

GSD组态文件读取，也就说课题组的实验得到了想要的结果。

5.3 GSD 组态文件生成器的程序原理

鉴于中期答辩之后大众公司给课题组的新要求：进行更通用的GSD组态文件研究。课题组决定通过编写程序来自动生成GSD组态文件。当然，这里的生成GSD组态文件是指生成能够被S5所读取的GSD组态文件。课题组编写该程序主要利用了前面提到的GSD组态文件的引用逻辑及GSD组态文件的格式特点。

由于阀组修改前的GSD组态文件包含了非常多的模块（而一个阀组只需要几个），因此，课题组猜想这些模块应该是费斯托公司能够售卖的所有模块，费斯托公司为了省力就直接把所有模块都装到了一个GSD组态文件中，而不管该GSD组态文件对应的设备是否需要这些模块，所以才导致了课题组研究的无法读取GSD组态文件的问题。这刚好给课题组提供了思路：可以将修改前的GSD组态文件作为模块库，利用GSD组态文件各部分之间的引用关系来自动生成紧凑型的GSD组态文件（紧凑即是不包含那些没有必要存在的模块，因为课题组已经证实了删掉没有必要的模块可以使S5顺利读取GSD组态文件）。

另外，程序编写的另一个重点便是利用GSD组态文件的结构特点。这里的结构特点主要是指每个模块会对应一个单一的订货号，而且GSD组态文件中的一些重要识别字符的相对位置是确定的。

具体说来，在编写程序时，首先根据5.1.3中对阀组GSD组态文件结构的划分，将阀组GSD组态文件分成了6个文本文件（见下图）。

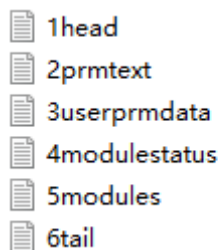


图5-2 阀组GSD组态文件结构

在编写程序时，课题组充分利用了新阀组的GSD组态文件。正如前文所述，程序的思路很简单，只是将不必要的模块删掉，然后根据引用逻辑关系留下那些必要的部分。然而在程序的实际编写中还是有许多细节需要注意。程序功能的实现主要依靠GSD组态文件的格式特点。

以下分步骤对代码进行解释：

（1）读取文件对象，并将其转化为列表

```
fhead = open("d:/AA/material/1head.txt","r")
fstatus = open("d:/AA/material/4modulestatus.txt","r")
ftail = open("d:/AA/material/6tail.txt","r")
fprmtxt = open("d:/AA/material/2prmtxt.txt","r")
fuserdata = open("d:/AA/material/3userprmdata.txt","r")
fmodules = open("d:/AA/material/5modules.txt","r")
```

```
fpn = open("d:/AA/PN模板库.txt","r")
head = fhead.readlines()
status = fstatus.readlines()
tail = ftail.readlines()
prmttext = fprmttext.readlines()
userdata = fuserdata.readlines()
modules = fmodules.readlines()
pn = fpn.readlines()
```

(2) 输入模块编号列表, 并将其转变为列表

```
no = input("请输入模块编号, 不同编号以空格隔开 (如: 123444 123423) :")
no = no.split()
```

(3) 判断输入编号是否在库, 如果不在库给出提示

```
for x in no:
    if x+'\n' not in pn:
        print(x+'不在库中')
```

(4) 将prmttext, userprmdata,以及modules “合并化”。

这里的“合并化”其实是一种根据GSD组态文件格式特点的操作, 即将列表中的每行文本末尾的换行符“\n”换成“\$”, 是为了方便处理。

```
for i in range(len(prmttext)):
    if prmttext[i] != '\n':
        prmttext[i] = prmttext[i].replace('\n','$')
for i in range(len(userdata)):
    if userdata[i] != '\n':
        userdata[i] = userdata[i].replace('\n','$')
for i in range(len(modules)):
    if modules[i] != '\n':
        modules[i] = modules[i].replace('\n','$')
```

(5) 将“合并化”后的文件重新读取为列表

将“合并化”后的文件写入TXT, 并重新读取为列表。这样得到的列表就可以进一步处理了。

```
tprmttext = open("d:/AA/temp_prmttext.txt","w")
tuserdata = open("d:/AA/temp_userdata.txt","w")
tmodules = open("d:/AA/temp_modules.txt","w")
for i in prmttext:
    tprmttext.write(i)
tprmttext.close()
for i in userdata:
    tuserdata.write(i)
tuserdata.close()
for i in modules:
```



```
tmodules.write(i)
tmodules.close()
fprmtxt = open("d:/AA/temp_prmtxt.txt","r")
fuserdata = open("d:/AA/temp_userdata.txt","r")
fmodules = open("d:/AA/temp_modules.txt","r")
prmtxt = fprmtxt.readlines()
userdata = fuserdata.readlines()
modules = fmodules.readlines()
```

(6) 删除modules中多余的模块

此处用到了一个判断语句：如果输入的编号在某个模块内，那么保留该模块，否则删除该模块。此处提取编号的语句在程序中起到了重要的作用。

```
for i in range(len(modules)):
    flag = 1
    for j in no:
        if (str(j) in modules[i]):
            flag = 0
    if flag:
        modules[i] = 'delete\n'
while 'delete\n' in modules:
    modules.remove('delete\n')
```

(7) 删除ExtUserPrmData多余的部分

此处使用的语句跟上部分相同，也用到了提取编号的语句。

```
for i in range(len(userdata)):
    if userdata[i] != '\n':
        yes = 1
        ii = 17
        index = userdata[i][ii]
        while userdata[i][ii+1] != ' ':
            index = index + userdata[i][ii+1]
            ii = ii + 1
        index = ')' + ' ' + index + '$'
        for ele in modules:
            if index in ele:
                yes = 0
        if yes:
            userdata[i] = 'delete\n'
while 'delete\n' in userdata:
    userdata.remove('delete\n')
```

(8) 删除PrmText中多余的部分

```
for i in range(len(prmtxt)):
    if prmtxt[i] != '\n':
```

```
yes = 1
ii = 10
index = prmtxt[i][ii]
while prmtxt[i][ii+1] != '\t':
    index = index + prmtxt[i][ii+1]
    ii = ii + 1
index = 'Prm_Text_Ref = ' + index
for ele in userdata:
    if index in ele:
        yes = 0
if yes:
    prmtxt[i] = 'delete\n'
while 'delete\n' in prmtxt:
    prmtxt.remove('delete\n')
```

(9) 将prmtxt, ExtUserPrmData,以及modules转变为原来的形式

```
for i in range(len(prmtxt)):
    prmtxt[i] = prmtxt[i].replace('$','\n')
for i in range(len(userdata)):
    userdata[i] = userdata[i].replace('$','\n')
for i in range(len(modules)):
    modules[i] = modules[i].replace('$','\n')
```

(10) 合并为新的GSD, 并写入文本文件

```
GSD = head + prmtxt + userdata + status + modules + tail
gsd = open("d:/AA/GSD.txt","w")
for i in GSD:
    gsd.write(i)
gsd.close()
```

5.4 GSD 组态文件生成程序的适用范围

根据前面的介绍, GSD组态文件自动生成程序的原理是利用已有的修改前GSD组态文件作为“原材料”, 在其中众多的模块中留下自己需要的, 删掉不需要的, 并同时利用GSD组态文件的引用逻辑对其他部分进行处理。然而, 修改前的GSD组态文件未必包含所有可得到的模块。事实上, 在费斯托官网上可以找到所有可得到的模块。课题组通过对比这些模块以及“模块库”中的模块, 找到了哪些模块可以被自动生成程序直接使用(即GSD组态文件生成程序的适用范围)。

目前, 费斯托公司官网上售卖了89个订货号互不相同的模块, 而“模块库”中只有65个产品编号不同的模块。经过对比, 课题组得到了27个可以自动生成GSD组态文件的模块以及62个不可以自动生成GSD组态文件的模块。

这意味着，只有在购买这特定的27个模块时，课题组的自动生成程序才是有效的。这有些令人沮丧，但也很合理：毕竟“模块库”出自一个年代久远的GSD组态文件，有众多新推出的模块无法包括在内也是合理的。

表5-14：27个在库模块

模块名称	类型	产品编号
CPX -16DE	输入模块	543815
CPX -2AA-U-I	模拟量模块	526170
CPX -2AE-U-I	模拟量模块	526168
CPX -2ZE2DA	I/O 模块	576046
CPX -4AE-I	模拟量模块	541484
CPX -4AE-P-B2	模拟量模块	560361
CPX -4AE-P-D10	模拟量模块	560362
CPX -4AE-T	模拟量模块	541486
CPX -4AE-TC	模拟量模块	553594
CPX -4AE-U-I	模拟量模块	573710
CPX -4DA	输出模块	195754
CPX -4DE	输入模块	195752
CPX -8DA	输出模块	541482
CPX -8DA-H	输出模块	550204
CPX -8DE	输入模块	195750
CPX -8DE-8DA	I/O 模块	526257
CPX -8DE-D	输入模块	541480
CPX -8NDE	输入模块	543813
CPX -CMIX-M1-1	测量模块	567417
CPX -CMPX-C-1-H1	端位控制器	548931
CPX -CP-4-FB	电接口	526705
CPX -F8DE-P	输入模块	2597424
CPX -FB13	总线节点	195740
CPX -FVDA-P2	输出模块	1971599
CPX -L-16DE-16-KL-3POL	输入模块	572606
CPX -L-8DE-8DA-16-KL-3POL	I/O 模块	572607
CPX -M-16DE-D	输入模块	550202

表5-15：62个不在库模块

模块名称	类型	产品编号
CPX -AB-1-7/8-DN	气路板模块	571052
CPX -AB-1-SUB-BU-25POL	气路板模块	525676
CPX -AB-2-M12-RK-DP	气路板模块	541519
CPX -AB-2-M12-RK-IB	气路板模块	534505
CPX -AB-4-HAR-4POL	气路板模块	525636
CPX -AB-4-M12-8POL	气路板模块	526178
CPX -AB-4-M12X2-5POL	气路板模块	195704
CPX -AB-4-M12X2-5POL-R	气路板模块	541254

CPX -AB-8-KL-4POL	气路板模块	195708
CPX -AB-8-M12X2-5POL	气路板模块	3606900
CPX -AB-8-M8-3POL	气路板模块	195706
CPX -AB-8-M8X2-4POL	气路板模块	541256
CPX -AB-ID-P	气路板模块	2639571
CPX -CTEL-2-M12-5POL-LK	电接口	2900543
CPX -CTEL-4-M12-5POL	电接口	1577012
CPX -FB11	总线节点	526172
CPX -FB14	总线节点	526174
CPX -FB23-24	总线节点	526176
CPX -FB32	总线节点	541302
CPX -FB33	总线节点	548755
CPX -FB36	总线节点	1912451
CPX -FB37	总线节点	2735960
CPX -FB38	总线节点	552046
CPX -FB39	总线节点	2093101
CPX -FB40	总线节点	2474896
CPX -FB6	总线节点	195748
CPX -GE-EV	互连模块	195742
CPX -GE-EV-S	互连模块	195746
CPX -GE-EV-S-7/8-4POL	互连模块	541248
CPX -GE-EV-S-7/8-5POL	互连模块	541244
CPX -GE-EV-S-7/8-5POL-VL	互连模块	8022172
GE-EV-S-VL	互连模块	8022170
CPX -GE-EV-V	互连模块	533577
CPX -GE-EV-V-7/8-4POL	互连模块	541252
CPX -GE-EV-V-VL	互连模块	8022171
CPX -GE-EV-Z	互连模块	195744
CPX -GE-EV-Z-7/8-4POL	互连模块	541250
CPX -GE-EV-Z-7/8-5POL	互连模块	541246
CPX -GE-EV-Z-7/8-5POL-VL	互连模块	8022173
CPX -GE-EV-Z-VL	互连模块	8022166
CPX -M-AB-4-M12X2-5POL	气路板模块	549367
CPX -M-AB-4-M12X2-5POL-T	气路板模块	2639560
CPX -M-AB-8-M12X2-5POL	气路板模块	549335
CPX -M-FB21	总线节点	572221
CPX -M-FB21-IB-RL	空位板	572818
CPX -M-FB34	总线节点	548751
CPX -M-FB35	总线节点	548749
CPX -M-GE-EV	互连模块	550206
CPX -M-GE-EV-FV0	互连模块	567806
CPX -M-GE-EV-S-7/8-5POL	互连模块	550208
CPX -M-GE-EV-S-7/8-5POL-VL	互连模块	8022165
CPX -M-GE-EV-S-7/8-CIP-4P	互连模块	568956

CPX -M-GE-EV-S-PP-5POL	互连模块	563057
CPX -M-GE-EV-Z-7/8-5POL	互连模块	550210
CPX -M-GE-EV-Z-7/8-5POL-VL	互连模块	8022158
CPX -M-GE-EV-Z-PP-5POL	互连模块	563058
FBA-1-SL-5POL	总线连接	525634
FBA-2-M12-5POL	总线连接	525632
FBA-2-M12-5POL-RK	总线连接	533118
FBSD-KL-2X5POL	总线连接	525635
CPX -FEC-1-IE	控制模块	529041
CPX -M-FB20	总线节点	572334

第六章 GSD 开发与运行

由对 profibus-DP 协议与 GSD 文件的研究可知，GSD 文件并没有指定 PLC 类型的参数定义，因此可以猜想兼容性问题出在总线协议和西门子软硬件的发展上。1989 年，一些自愿使用 profibus 协议的企业联合成立了 profibus 用户组织，这意味着 profibus 协议基本成型并可以投入使用；由于 profibus 协议在不断发展，自 1989 年之后新增加了许多特性，如 profibus-DPV1、DPV2，可想而知如果软硬件没有升级的话，新的配置并无法在当时的 profibus-DP 网络上使用。西门子 S7 系列 PLC 从 1994 年开始投入使用，这标志着 S5 系列 PLC 从此时开始将逐渐被淘汰。随着 S7 系列 PLC 配套带来的还有 STEP-7 配置软件，而 S5 系列 PLC 只能使用 COM PROFIBUS 配置软件；而配置软件是以 Windows 系统为基础的，Windows 系统也在不断发展，西门子对 S5 系列的支持从 2000 年以来就基本停止了，因此 COM PROFIBUS 只能在 Windows 98 Windows XP 系统上运行，而 STEP-7 完全可以在最新的 Windows10 系统上运行。可见，虽然 S5 系列 PLC 与 S7 系列 PLC 使用的 DP 协议基本没有差异，但 S5 系列中有可能存在一些不支持的 DP 网络参数配置。S5 系列与 S7 系列的对比见表 6-1。

表 6-1 S5/S7 系列支持对比

功能	S5 系列	S7 系列
DP 协议	支持	支持
DP 协议扩展	可能不支持	支持
配置软件	COM PROFIBUS	STEP-7
GSD 组态文件参数	可能部分不支持	支持
支持系统	Win 98、win XP	Win XP、win 7/8/10

6.1 使用 COM PROFIBUS 软件配置 DP 网络

COM PROFIBUS 是专门为 S5 系列 PLC 设计的 DP 网络配置软件。在本课题中，需要配置 S5-115U 与新阀组组态。

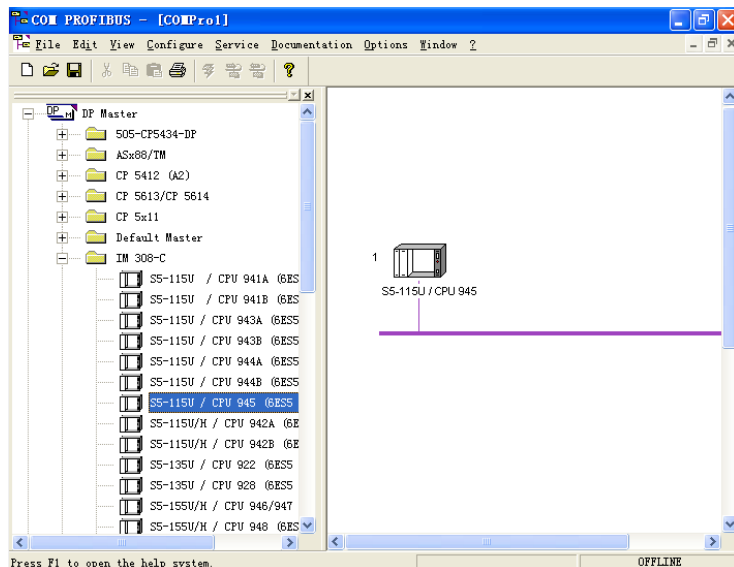


图 6-1 主站 DP 组网

如图 6-1，COM PROFIBUS 左边为站点选择框，对于所有的主从站，只要 GSD 组态文件在指定的目录中就可以显示在左边框里。首先选择 S5-115U 为主站，设置的主站与实际的主站应该完全相符。

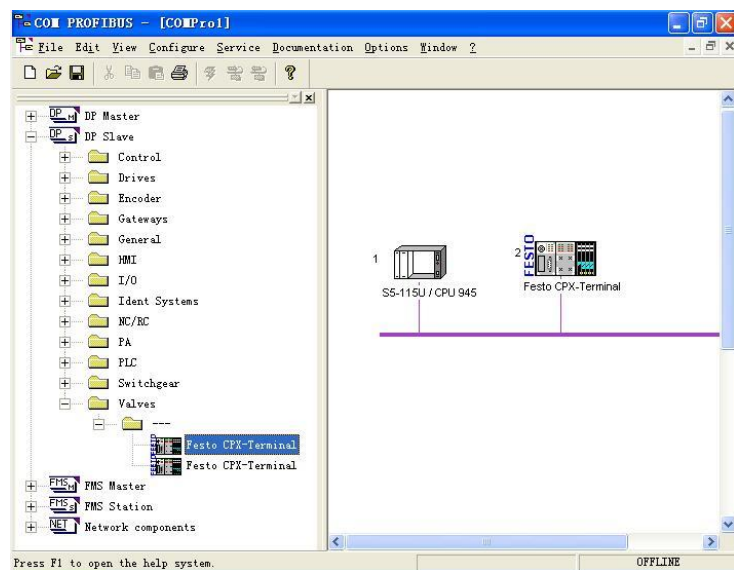


图 6-2 新阀组 DP 组网

如图 6-2，设置完主站后，在 DP slave 目录下的 valves 文件夹中选择新阀组的 GSD 组态文件，只需要双击阀组图标就可以将阀组放入 DP 网络中，右侧可以看到目前的 DP 网络的示意图。

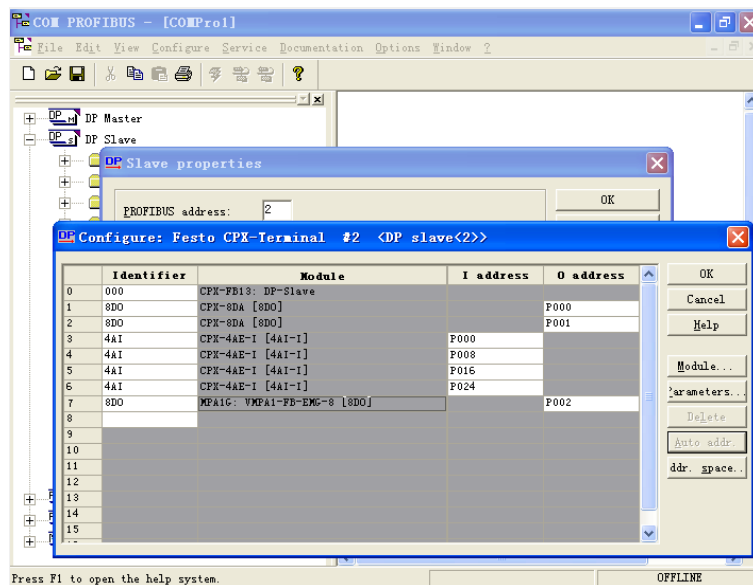


图 6-3 新阀组模块选择

阀组需要设置好使用的模块并配置好输入输出编号。如图 6-3 所示，选择阀组后进入模块配置界面，按照实际的阀组组态顺序将模块配置好，并配好相应的 I/O 地址。由于 IM308C 只能使用存储卡导入 DP 网络的配置，需要使用 COM PROFIBUS 将参数导入到 IM308C 存储卡，如图 6-4 所示。然而，当从 IM308C 读取配置时，新阀组并没有在 DP 网络中，出现了兼容性问题。

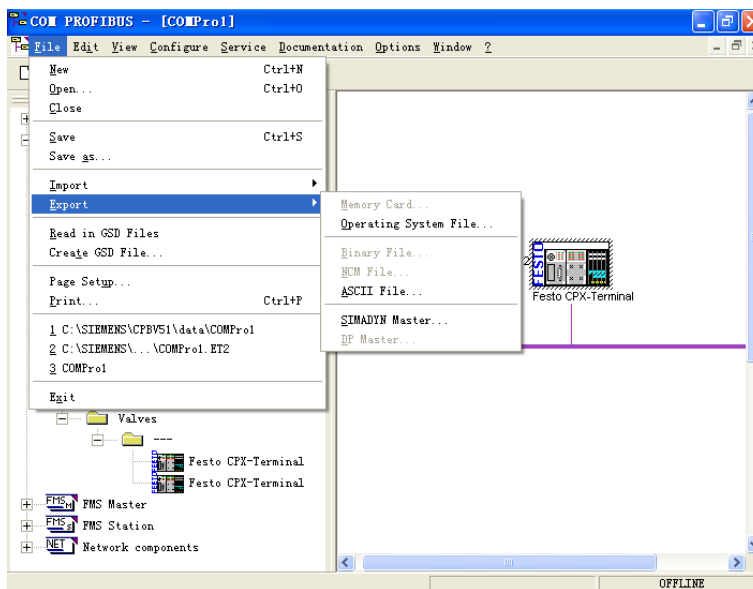


图 6-4 导入到 IM308C 储存卡

6.2 GSD 组态文件特殊参数猜想实验

由 S5 系列 PLC 与 S7 系列 PLC 的差异可知，兼容性问题最可能是新阀组 GSD 组态文件存在一些特殊参数导致的。由于 S5 系列 PLC 早已不受西门子官方支持，没有兼容性问题的相关资料，具体的原因只能通过不断实验找出。

首先值得考虑的是 DPV1。DPV1 是从 DPV0 扩展而来的，DPV0 主要实现了 DP 网络中的循环数据交换，这是 DP 网络的基本功能。而 DPV1 实现了 DP 网络中的非循环数据交换，如从站的设置等。S5 系列 PLC 或 COM PROFIBUS 很可能不支持 GSD 组态文件中 DPV1 的参数设置。经分析，新阀组 GSD 组态文件中设置 DPV1 的参数共 31 行，其部分代码如下：

Fail_Safe_Required	=	0
DPV1_Slave	=	1
C1_Read_Write_supp	=	1
C2_Read_Write_supp	=	1
C1_Max_Data_Len	=	72
C2_Max_Data_Len	=	72
C1_Response_Timeout	=	100
C2_Response_Timeout	=	100
C1_Read_Write_required	=	0
C2_Read_Write_required	=	0
C2_Max_Count_Channels	=	1

考虑到本次实验的 DP 网络中并没有用到这些参数的设置，所以第一组实验设计为：31 行 DPV1 全部删除，用 COM PROFIBUS 软件配置新的 DP 网络。实验结果表明仍然存在兼容性问题，可以得出结论，DPV1 的参数与兼容性问题无关。

GSD 组态文件中的参数设置非常多，除了 DPV1 的一些参数非常清晰地标注出来以外，其他参数很难知道是否为新增功能的参数。由于无法得知 profibus 协议发展过程中具体新增了其他哪些参数，S5 系列 PLC 具体支持哪些参数也难以查清，因此实验思路变为参数随机删除测试。同时，考虑到新阀组 GSD 组态文件中约 95% 的内容都是模块与模块引用，而本课题中只用到了其中 5 种模块，因此删掉所有其他模块对 GSD 文件的改动最大，涉及到特殊参数的可能性最高，删除模块的改动最为合适。因此，第二组实验设计为：删除 GSD 组态文件中所有本次课题中未选用的模块。实验结果显示 DP 网络配置成功，可以得出结论，模块与兼容性问题相关，很可能模块的配置中有 S5 不支持的参数。

进一步分析模块参数发现，新阀组 GSD 组态文件中模块一共有 125 个，其中 123 个模块中包含的参数关键字完全一样，只有 2 个模块中包含有特殊的参数。因此，第三组实验设计为：删除含有特殊参数的两个模块。实验结果显示仍然存在兼容性问题。由于第三组实验想对于第二组实验而言，删除的参数都是第二组实验仍然出现的，而第三组实验出现兼容性问题，第二组实验却没有，所以可以得出结论，特殊参数猜想是错误的，兼容性问题与模块相关；再结合二三两组实验发现，兼容性问题随着模块个数的增多而出现。

GSD 组态文件特殊参数猜想实验过程图如图 6-5 所示。

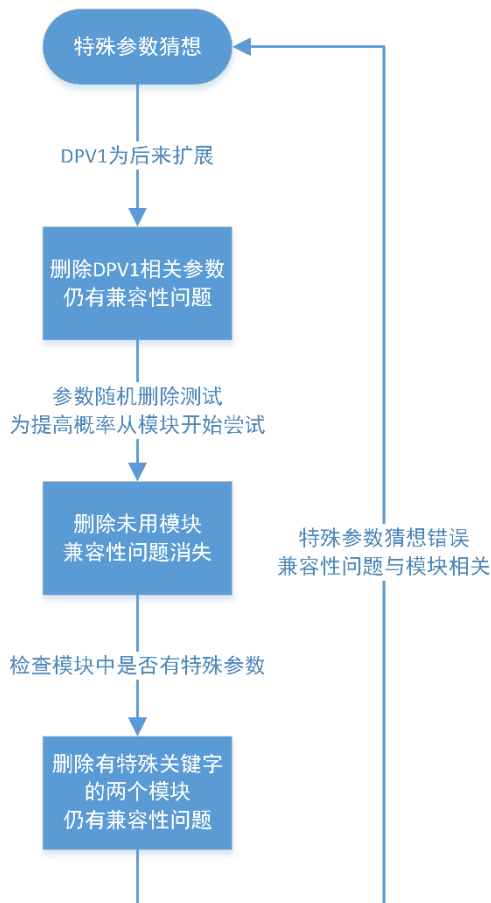


图 6-5 GSD 组态文件特殊参数猜想实验过程图

6.3 GSD 组态文件模块个数猜想实验

由第二组实验可知，模块只剩 5 个时兼容性问题就消失了，而原来的 125 个模块或第 4 组实验中删掉两个模块后的 123 个模块都有兼容性问题，可见模块个数的增多与兼容性问题相关。据此可猜想：模块个数超过一个限定值就会导致兼容性问题。因此第 4 组实验设计为：参考已有模块的格式，制作多个完全相同的模块，测试模块个数的上限。重复实验，确保模块与上次不同，排除模块特殊的可能性。实验结果为：多次实验中，模块全部一样的情况下，999 个模块没有兼容性问题，1000 个模块兼容性问题再次出现。

原 GSD 组态文件有 125 个模块就出现兼容性问题，结合第 4 组实验可知，模块个数存在 999 的上限，而不同的模块组合，个数上限远小于 999，因此不同模块的组合还存在一个上限值。由于模块不同，组合起来情况非常多，因此可以猜想上限值是在一个范围内波动的，于是一定会出现这样一种情况：随机选取模块，保证个数一样多，有的实验能通过兼容性检测，有的实验就不行。据此，第五组实验设计为密集随机实验。实验过程为：近似采用 2 分法，从 125 个模块选取 50 个模块，为了达到覆盖 125 个模块的效果，选取方式为每隔 25 个模块连续选取 50 个模块，一共做 5 次实验；如果结果为全部出现兼容性问题，则选取 25 个模块，同样，每隔 25 个模块连续选取 25 个模块，做 5 次实验实现全覆盖；如果结果为全部未出现兼容性问题，则选取 75 个模块，选取前 75 个与后 75 个做两次实验实现全覆盖。以

此类推，直到找到这样一种情况：实验中，同样的模块个数，有的实验存在兼容性问题，有的实验不存在兼容性问题。密集随机实验的决策过程如图 6-6 所示。

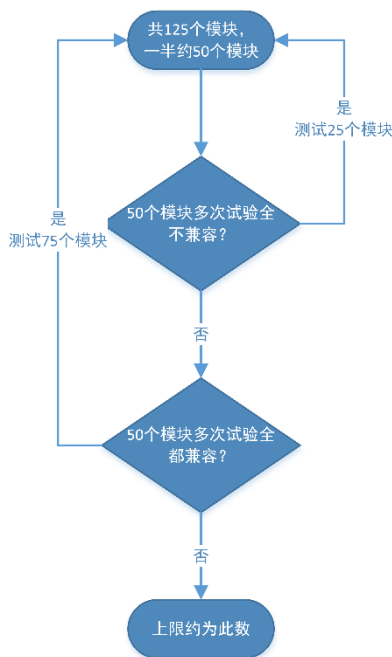


图 6-6 密集实验决策流程图

第 5 组实验的结果为：在阀组 GSD 组态文件中，采用顺序选取模块的方式，不出现兼容性问题的模块个数上限在 25 左右。具体来讲，只有第 26 到第 50 这 25 个模块会出现兼容性问题。

结合第 4 第 5 两组实验，可以得出的结论为：模块个数的上限为 999，但并不是只有这一种限制。还存在一个或多个与模块个数密切相关的值，当这个值超过一定的限度就会出现兼容性问题。

6.4 26 到 50 模块针对性实验

由第 5 组实验可知，26 到 50 模块处于兼容性问题的界限上，因为在其他 25 个模块都不存在兼容性问题，为了探究界限，需要开展针对 26 到 50 模块的实验，这样可以测试出大量的临界情况，可以为之后的分析提供思路。所以，第 6 组实验设计为：从 26 到 50 模块中删除一个模块，共操作 25 次，检测剩下 24 个模块的组合的兼容性如何。

第 6 组实验的结果为：删除第 26、30、40、43、44、47、48 这 7 种模块后，剩下的 24 个模块的组合能通过兼容性检测，剩下的情况都存在兼容性问题。实验结果表明，这 7 种模块一定存在区别于剩下 18 种模块的特点，导致单独删除 7 种模块中的一个，兼容性就消失了。因此，要对这 7 种模块的特点进一步分析，需要对模块结构有一个合理可靠的理解。

6.5 模块结构分析

由前面 6 组实验可知，兼容性问题总是随着模块数变多而出现的。结合 S5 系列 PLC 与 S7 系列 PLC 的软件差异可知，兼容性问题极有可能出现在配置软件解析 GSD 组态文件的过程中的内存消耗上。由于 COM PROFIBUS 是上个世纪的软件，在软件可靠性上一定不如现在的软件，而前面的实验相当于对 COM PROFIBUS 的黑箱测试，测试结果可以表明 COM PROFIBUS 在处理模块数过多的时候会出现问题，导致用户认为是协议本身的兼容性出现问题，这也是最开始特殊参数的猜想失败的原因。

因此，考虑到一般程序不会有随机特性的特点，COM PROFIBUS 解析 GSD 的过程虽然是黑箱，但一定有两个特点：

- (1) 解析模块的过程都是一样的，因为模块的结构完全一样
- (2) 模块之间的差异性是通过模块引用体现的，因为只有引用需要解析

由前 6 组实验可知，模块个数并不是一个决定性的限定值，而仅仅是一个相关的值。根据对 GSD 解析过程的猜想，解析模块的消耗由模块引用决定，因此各种实验中模块引用相关量具有一定的参考价值。

6.6 模块引用相关量统计

随着模块数的增多，模块引用个数也在增多，考虑第 6 组实验出现的大量临界情况记录，统计 25 次 24 个模块组合实验的模块引用个数，如表 6-1 所示。

表 6-1 25 次 24 个模块组合实验模块引用个数统计

无兼容性问题 7 次实验模块引用次数						有兼容性问题 18 次实验模块引用次数					
708	708	724	724	728	730	740	740	740	744	745	745
738						746	748	749	751	756	756
						756	756	757	758	764	765

可见，7 次无兼容性问题中的引用次数与 18 次有兼容性问题中的存在明显的界限。然而，在探究相同模块次数上限的实验中，模块个数最高可以到 999，引用次数也至少到 999，说明引用次数不会是唯一的限制因素。

在探究相同模块次数上限的实验中，与引用相关的量除了引用次数，还有引用种类数，而相同模块无论使用多少个，模块引用种类数并不会变多，因此引用种类数可以很好的解释这种情况下的上限。

除了引用个数与引用种类数，还有一个与模块引用相关的量是单个模块引用的次数。然而，对临界情况单个模块引用次数的统计显示，有无兼容性问题的两组实验的单个模块引用次数最大值并没有太大的差别。

考虑到 GSD 解析的过程一般不会太复杂，因此模块引用相关的量的基本只有总个数、总的种类数、单个模块引用的次数这三种比较可能影响兼容性问题。排除掉单个模块引用的次数后，引用个数与种类数还有可能是共同作用的。再次考虑到 GSD 组态文件没有过于复杂的逻辑，个数与种类数的共同作用很可能就是二者的线性组合。

统计前 6 组所有的实验，以引用种类数为横轴，引用个数为纵轴，将有无兼容性问题的实验以不同颜色标注在图上，最终得到了图 6-5。

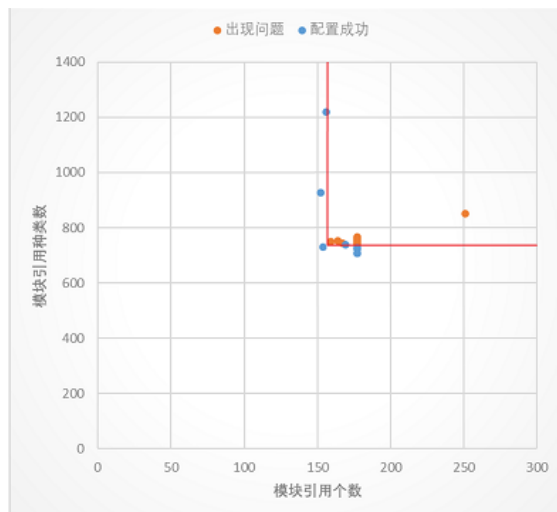


图 6-7 前 6 组实验结果图

如图 6-7，为了突出分界线，主要画出了种类数 160 左右、个数 739 左右的点。可见，有无兼容性问题的实验有一个清晰的 L 型分界线，在 L 型分界线的左边的实验都是无兼容性问题的；而在 L 型分界线的右边都是有兼容性问题的。由于分界线附近的点远远称不上密集，还有一定的可能会有错误的分类，分界线只是说明了兼容性参数随着模块引用种类数和个数的趋势：种类数超过一定的值，如 180，一定会产生兼容性问题；超过一个小一点的值，如 160，模块引用个数变多也会产生兼容性问题；而小于一个更小的值，如 150，模块引用个数无论多少都不会出现问题。

6.7 COM PROFIBUS 解析 GSD 内存消耗问题猜想

通过对模块引用相关量的统计，可以看出引用种类数对兼容性问题有着决定性影响，仅仅在引用种类数超过一定的值时，引用个数变多才会出现兼容性问题。结合对解析 GSD 过程的猜想，可以认为 COM PROFIBUS 在解析模块的时候为每个引用种类都生成了一个调用函数，所以种类数增加会使内存消耗变多，到了一定的限度就会导致兼容性问题。而引用次数则代表对函数的调用次数，COM PROFIBUS 采用了复用的调用方式，每次调用并不是对函数占用内存的拷贝，而是直接复用同一块内存，由于引用并没有向函数传递参数，复用是完全可行的，这将使引用次数消耗的内存比引用种类数少许多，这就解释了为什么引用种类数到一定的值后，引用次数过多才会导致兼容性问题。

为了验证引用种类数的决定性影响，第 7 组实验设计为：制作模块，每个模块仅仅随机使用一个引用，测试最多可以有多少个模块。实验结果与分析符合的很好，在 150 个模块的时候仍没有兼容性问题，到 155 个模块的时候就出现了兼容性问题，这代表不考虑引用个数，引用种类数超过 150 就可能出现兼容性问题，上限值与图 5-5 中 L 型分界线的种类数坐标相近。因此，引用种类数对兼容性问题的影响是决定性的。

6.8 GSD 制作软件的开发

要将新阀组 GSD 组态文件制作改写成为兼容 S5 系列 PLC 的 GSD 组态文件, 最好也是最简单的方法就是删除一切用不到的模块。考虑到使用的模块可能有所改动, 要让对 GSD 组态文件不熟悉的用户直接改写 GSD 组态文件是不太现实的, 因此, 制作一款根据用户选择自动改写好 GSD 组态文件的软件是十分必要的。

GSD 制作软件的要求要有以下几点:

1. 能读出新阀组 GSD 组态文件所有的模块, 并可以让用户选择用到的模块
2. 能自动生成删除其余没用到模块的 GSD 组态文件
3. 能对 GSD 组态文件对 S5 的兼容性做出判断
4. 安装方便, 能在 Windows 系统下运行, 至少需要支持 win XP、win7/8/10 系统

6.8.1 开发工具简介

软件开发选择的是 QT。QT 是为了开发用户界面和应用而设计的一套基于 C++ 的开源应用框架, 其优点在于对跨平台的支持十分完善, 而且采用所见即所得的 UI 设计方式, 为开发者提供了极大的便利。同时, QT 还自带了大量的开发文档, 给开发者提供了很多帮助。Qt 经过多年来的发展, 已经不仅仅是一套 GUI 库。QT 内置了各种各样的库, 有泛型容器、网络库、OPENGL 图形库等各种各样的库, 几乎可以满足用户的一切需求。

QT 最大的特点之一是使用信号和槽的机制 (signals/slots)。Qt 利用信号与槽机制取代传统的回调函数来进行对象之间的沟通。当操作事件发生的时候, 对象会发提交一个信号 (signal); 而槽 (slot) 则是一个函数接受特定信号并且运行槽本身设置的动作。信号与槽之间, 则通过 QObject 的静态方法 connect 来链接。以往的回调函数缺乏类型安全, 在调用处理函数时, 无法确定是传递正确类型的参数。但信号和其接受的槽之间传递的数据类型必须要相匹配, 否则编译器会提出警告。信号和槽可接受任何数量、任何类型的参数, 所以信号与槽机制是完全类型安全。

信号与槽机制也确保了低耦合性, 发送信号的类别并不知道是哪个槽会接受, 也就是说一个信号可以调用所有可用的槽。此机制会确保当在"连接"信号和槽时, 槽会接受信号的参数并且正确运行。

6.8.2 UI 设计

如图 6-8 所示, 软件 UI 设计地十分简洁, 功能一目了然。



图 6-8 软件 UI

软件 UI 分为左半部分和右半部分两大区域，左边用来读取 GSD 组态文件并显示所有模块，本课题中读取的是新阀组的 GSD 组态文件。右边用来显示已经选择的 GSD 模块。在上方点击选择可以将原 GSD 的模块加入到新 GSD，如果选错的话，可以在右上方点击删除将错选模块删掉。用户也可以点击下方的 GSD 兼容性判定来测试原 GSD 或新 GSD 是否能够兼容 S5。

6.8.3 GSD 组态文件解析

GSD 组态文件解析的过程分为去除注释、读取模块、读取模块引用三部分。

(1).去除注释

GSD 组态文件以分号为注释标志符号，在分号以后的字符都是注释，对解析过程没有帮助。由于注释内容可能包含一些解析用的关键词，因此第一步必须将 GSD 组态文件所有的注释去掉。然而，分号还有可能在双引号内出现，此时分号失去了注释标志符号的作用，只是一个普通的字符，因此需要考虑到双引号的问题。

(2).读取模块

读取模块的方法主要是靠模块的关键词。模块开头的形式都是 `Module = "xx"`，如果只匹配 `module` 关键词，很可能匹配到其他地方，因此只能匹配整个模式。正则表达式在计算机科学中被广泛用来提取符合某个模式的文本，其使用起来非常简单，只需要将原字符串用正则表达式的方式重写即可，比如要匹配 `Module = "xx"` 的模式，只需要写出它的正则表达式：`Module\s*=\s*" .+ "`。这个正则表达式中特殊的地方在与 `\s*` 与 `+`，`\s` 代表空格，`*` 代表 0 个或多个；`+` 代表除了换行符以外的一切字符，`+` 代表 1 个或多个。整个正则表达式用语言复述出来是：`Module` 后接 0 个或多个空格，再接 `=`，再接 0 个或多个空格，然后接 `"`，双引号里面有字符就行了。可见，正则表达式将开头的形式精确地表达了出来。QT 中有直接运行正则表达式的类，写好正则表达式后可以方便地运行。模块的开头和结尾都是独一无二的形式，使用正则表达式可以精确地提取出来，经过之后处理后可以实现模块的读取。

(3).读取模块引用

模块引用的形式为：`Ext_User_Prm_Data_Ref(1) = 6021`，代表对模块参数第一个字节运用引用编号 6021 的操作。同样，使用正则表达式可以精确匹配模块引用：

`Ext_User_Prm_Data_Ref(\d+)\s*=\s*\d+`。读取模块引用与读取模块类似，区别在于读取模块

引用多了两个特殊的地方：\ (与\)代表对括号的转义，将括号当做字符来匹配而不是作为正则表达式的运算；\d 匹配一个数字，\d+代表一串数字。

读取模块引用是建立在读取完模块的基础上的，建立每个模块的引用都将被解析出来以供后续程序处理。

6.8.4 GSD 兼容性判定

GSD 兼容性判定使用了最简单的方式：统计模块引用种类数是否到了 150，如果超过了 150，则警告用户 GSD 对于 S5 兼容性可能出问题。由于一般用户使用的模块不多，生成的 GSD 模块引用个数一般都不会超过 150，因此新 GSD 兼容性一般都不会出问题。点击 GSD 兼容性判定后，如果兼容性没问题，则弹出显示框通知用户检测通过；如果兼容性存在问题则弹出警告，告诉用户兼容性可能有问题。

统计模块引用种类数的方法简单有效：建立一个数组，遍历模块的引用编号，以编号为下标，如果出现过编号，则数组该编号位置上的值为 1，最终将数组值加起来就是引用种类数。

6.8.5 GSD 制作软件测试

打开 GSD 制作软件，读取新阀组 GSD 组态文件，可以看到 GSD 模块列表，模块总数为 125 个；点击原 GSD 组态文件兼容性检测，可以发现弹出了兼容性问题警告；选择 6 个模块，点击新 GSD 兼容性检测，弹出检测通过的提示框；最后点击新 GSD 组态文件生成，精简的 GSD 组态文件就生成成功了。选择界面如图 6-9 所示。将精简的 GSD 组态文件用来组态，结果显示组态成功，GSD 组态文件与 S5PLC 的兼容性问题消失。



图 6-9 模块选择界面

6.9 结论普适性验证

为了验证结论是否具有普遍性，课题组了解到 ET200S 在 S5 下同样有兼容性问题，于是第 8 组实验设计为针对 ET200 的兼容性测试实验。

ET200S 是西门子的一款分布式 IO 系统，具有丰富的信号模块，同时支持 PROFIBUS 和 PROFINET 两种现场总线。ET200S 可以实现产品的模块化，而且占用的空间小，广泛应用于自动化领域，在烟草、汽车、钢铁、物流等行业都有应用。

然而，专为 S5 设计的 ET200S 现在已经停产，可以适配 S7 的 ET200S 无法在 S5 中使用，情况与新阀组类似。使用 GSD 制作软件读取 ET200S 的 GSD 组态文件可以发现，ET200S 一共有 140 个模块，兼容性检测显示可能存在问题。从读取到的模块列表中选取用到的三个模块，再生成新的 GSD 组态文件。最终的结果显示 DP 网络组态成功，新 ET200S 可以与 S5 系列 PLC 组态成 DP 网络。所以，最终的 GSD 制作软件可以解决这一类兼容性问题，结论的普适性得到了验证。

6.10 小结

表 6-2 全部实验、猜想与结论

组数	猜想	实验	结果	结论
1	S5 不支持 DPV1	删除 DPV1 参数	不兼容	DPV1 参数无影响
2	模块最多，可能出问题	删除未用模块	兼容	兼容性问题在模块上
组数	猜想	实验	结果	结论
3	模块中有特殊参数	删除相应模块	不兼容	特殊参数猜想错误
4	模块个数存在上限	相同模块个数测试	上限 999	不同模块个数也有上限，比 999 小得多
5	不同模块个数上限在一个值左右	二分法实验查找不同模块个数上限值	上限值在 25 左右	猜想基本正确，但有进一步的原因
6	兼容性问题的临界情况可以提供有益参考	针对 25 个模块不兼容的情况，删除一个测试是否能兼容	7 次兼容，18 次不兼容	7 次兼容的模块与 18 次不兼容的模块的差别是兼容性的关键
7	解析 GSD 会消耗内存，模块引用种类数是关键，引用次数也有影响	制作只包含一个不同引用的模块，测试模块个数上限	模块个数上限在 155 左右	结果与之前所有实验都符合，引用种类数在 155 左右出问题
8	结论应具有普适性	制作出 GSD 制作软件，对 ET200S 进行兼容性实验	ET200S 处理后兼容	结论具有普适性

为了探究兼容性问题的原因所在，本课题中共做了 8 组实验，每组实验都针对最可能的猜想进行验证，在观察到结果后，提出新的猜想以符合当前实验的结果，同时开始进一步做实验验证，最终得到了可靠的结论，并证明了结论的普适性。整个实验过程如表 6-2 所示。

第七章 结论

完成上述两个方案后,课题组现在对工控机软硬件兼容问题有了较为全面的认识和解决方案。当出现这类兼容问题,Com Profibus 对新设备 GSD 组态文件读取导出失败时,可先用主从站方案将 S7 系列 PLC 作为中转站;同时在实验中应用课题组开发的 GSD Maker 对 GSD 组态文件进行处理,从而得到可以被 Com Profibus 识别导出的 GSD,解决兼容问题。以上便是课题组队该类问题的实际解决方案。

在理论研究部分,经过上述一系列的实验,课题组终于找到这一类兼容问题的根源所在——Com Profibus 软件读取 GSD 组态文件时,其模块部分的引用种类数过多,占用内存超过软件阈值,无法导出,因而组态文件无法再 S5 上运行。对引用种类数最直接的体现便是模块数目,在本文案例中,新 CPX 阀组 GSD 中包含了 FESTO 公司所有系列的 125 个模块(包含气动、电动模块等与 CPX 阀组毫无关联的模块),而实际物理上接在 CPX 阀组上的只有 5 种。这一类兼容问题是第三方公司对产品 GSD 组态文件的冗余性封装造成的。

早年 S5 时期的 GSD 组态文件模块数大多不超过十个,而随着 S7 系列 PLC 的发展,S7 能够成功识别近千个模块,第三方厂商出于方便于将品牌所有模块全放在每个设备 GSD 中,任由用户勾选,而没有考虑到 S5 PLC 的识别问题。

所以,归根结底该类兼容性问题的根源在于 Com Profibus 软件,西门子公司已经在 2007 年后停止对其更新,该软件所能够识别的 GSD 组态文件还是先前 S5 时代简短的 GSD。但随着 S7 系列 PLC 的发展,现在第三方设备的 GSD 大多包含上百个模块(CPX 新阀组包含 125 个模块,ET200S 包含 245 个模块),其引用种类数远远高于 Com Profibus 软件的阈值。当 Com Profibus 软件无法识别该设备的 GSD,也就代表着 S5 无法识别该设备的物理连接,因此无法控制而报错。

在研究出上述结果后,课题应用开发的 GSD Maker 软件对 CPX 阀组的 GSD 组态文件做了最精简化处理,仅保留其实际连接的 8DI、32DO 等 5 个模块。新 GSD 能够被 Com Profibus 软件识别并导出,将组态文件导入 S5 PLC 机组,并将 CPX 阀组与 S5 PLC 机组通过 IM308C 的 DP 接口连接后,阀组控制灯亮绿灯,证明实验成功,原有 S5 PLC 机组对新 CPX 阀组完成了通讯控制。

课题组对发生同类读取问题的 ET200S 做上述方案操作后,原与 S5 PLC 控制系统不兼容的新 ET200S 能够在 S5 PLC 机组下稳定运行。此前由于该兼容问题,大众公司不得不在一部分机床的 S5 控制系统之外再购买安装 S7 系列 PLC 与 ET200S 连接控制设备,但通过课题组的软件处理,得到的新 GSD 能够被 S5 PLC 机组识别,大众公司便不用再破费购买 S7 系列 PLC,可直接在原有 S5 PLC 机组上直接连接 ET200S 控制设备。省去了购买 S7 系列 PLC 的费用与安装布线的麻烦,这对大众公司来讲是一个非常重大的帮助,提升了大众公司生产的稳定性,具有重大意义。

总所周知,新世纪以来电气控制技术高速发展,日新月异,基本 5-10 年就发生一代的技术革命,然而对企业来讲,建成投产的生产线有其自有生产寿命与投资周期,这个周期大概在 10-20 年左右,总是滞后于外部电气技术发展的。一旦停产升级,不仅意味着追加投资、巨大的停产损失,还可能会在升级后出现更多的对旧设备的兼容问题,这是企业非常不愿意看到的。所以企业的目的是尽可能的在生产线生命周期内安全生产,获取最大的利益,使投资利益最大化,

本文的工作为许多的企业解决该类问题提供了指导，包括：1.对兼容性问题的中间过渡方案——主从站方案，该方案不论兼容问题根源所在，只要设备能在 S7 系列 PLC 下运行，就一定能够通关 S7 中转站的方法被 S5 通讯控制，可以作为企业的应急处理方案；2.对于 S5 系列 PLC 组态软件 Com Profibus 无法导出设备 GSD 到存储卡上这一类问题，我们研究了这一类问题的根源在于 GSD 模块部分的引用种类数超过 Com Profibus 软件阈值，课题组开发了 GSD Maker 软件，可以通过删改 GSD 组态文件中的无效模块生成能够被 Com Profibus 软件识别导出的新 GSD 组态文件，从而使问题迎刃而解。

上述方案对企业解决旧控制系统与新设备的兼容问题有重要意义，有助于企业延长生产设备使用寿命和投资周期，为工厂整体大规模升级换代提供了宝贵的时间。

谢辞

本文从选题再到完成，一直得到了徐凯副教授的悉心指导。在此，谨向徐老师致以最真诚的敬意！感谢徐老师在项目执行期间每周的指导与帮助，没有他耐心、全面、一针见血的指导，课题组项目是很难完成的，更不用说尽善尽美了。徐老师严谨的研究态度和方向指示，在整个项目阶段使课题组受益匪浅，也让课题组在今后的学习工作中更有清醒明智的头脑。

在课题研究过程中，上汽大众公司给予了课题组最全面、完善的技术、设施支持。在此，课题组向大众公司汽车三厂冲压中心的李益明、雷宏远、黄越鹏三位工程师表示最真挚的感谢。每一次前往大众公司实验，三位工程师都给予了课题组非常细心的帮助指导，包括搭建试验台、设备调试借用、方案改进等，都离不开三位工程师的辛勤工作。感谢上汽大众公司对我校毕业设计项目以及对课题组的帮助，也希望今后的合作毕设项目能够越做越好。

同时，项目从开题到执行再到结题，四位课题组成员都付出了极大的努力。四位成员齐心协力，合理分配任务，认真执行，诠释了团队合作的意义。这也是机动学院本科生毕业设计团队形式改革的初衷所在。感谢每个成员的努力工作。

此外，课题组也非常感谢本科生专业课程的各位老师，他们教授的专业知识被课题组灵活运用在本次课题中，让课题组有的放矢，清晰方向。当课题组对课程、答辩、报告有疑问时，本科生教务办都会及时地提出建议、解释，让课题组避免了许多可能会因经验不足而造成的错误，感谢他们。

最后向论文评阅人和答辩委员会的所有老师、教授表示最衷心的感谢！

参考文献

- [1]刘海明,佟子平. 浅谈中密度板厂西门子 PLC 系统 S5 升级为 S7 的可行性[J]. 农村实用科技信息,2009,(07):73-74.
- [2]马俊. 浅析西门子 S5 控制系统升级为 S7 控制系统的方法[J]. 新疆有色金属,2013,(S2):173-175.
- [3]李劲雷,范铁彬. PLC S5 系统升级到 S7 系统的方案[J]. 电气时代,2002,(09):94-95.
- [4]曾一新. 基于 Profibus-DP 的 S7-300 主从站通信系统实训装置的设计与实现现场[J]. 自动化技术与应用,2014,(11):84-86+89.
- [5] 西门子.DP 主站为 S7-300/400 时,如何在 PROFIBUS DP 上将 S5 (带有 IM 308-C) 作为 DP 从站? [EB/OL]. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/6556876>
- [6]胡桂星. S7 与 S5 PLC 的 PROFIBUS 通讯解决方案[J]. 自动化技术与应用,2011,(12):47-49+61.

COMPATIBILITY PROBLEMS BETWEEN INDUSTRIAL CONTROL SYSTEM AND UPDATED IPC HARDWARE

In the press shop of the SHANGHAI VOLKSWAGEN, many parts of the control system which using the PLC-S5 were built between 1995 and 2005. As time goes on, the old control system PLC-S5 has been eliminated outside, so that the old version spare parts of the PLC-S5 went out of production and become harder and harder, more and more expensive to buy. And because the control system has been on work for too long and the software version is too old, the new spare parts are not compatible with the old control system. Facing this situation, the companys usually choose the solution that update the all control system with PLC-S5 to the control system with PLC-S7. But this solution will take long time as well as large cost, at the same time, the updating process is also complicated as well as unstable with plenty of potential bug. So upgrading large number of equipments at one time is not a wise choice. Considering the defect of the update, SHANGHAI VOLKSWAGEN hopes to find a temporary solution to handle the problem, keep producing as well as extend the service life of the equipment and investment cycle. The paper aims to solve the compatibility problem of the new spare parts and the old PLC-S5, by communicating the new equipment with the old control system in a direct or indirect way.

According to the needs of the SHANGHAI VOLKSWAGEN, our research group study deeply on the Profibus-DP protocol as well as GSD file structure. Our research group put forward solutions like modifying the GSD file, using PLC-S7 as a slave, etc. On one hand our research group aim to solve the compatibility problems practically, which means that the new CPX valves can be controlled by the original old control system safe and sound. On the other hand, our research group determined to figure out the origin of the compatibility problems as well as find their common features so as to put forward to many other problem hardwares.

Research group started our study with S7-Slave method. In nowadays industrial manufacture, DP Master/Slave communication among S7-300/400 has become a common method which is applied to achieve multiple-lines connection. As a matter of fact, DP Master/Slave communication is more concise as well as flexible with each class displaying distinctly.

As our research group get down to this method, an IM308C module was exerted into S5 PLC set to provide DP interface. And then a profibus cable was used to connect S5-115U set and S7-319 3PN/DP. Besides physically connection, their profibus-DP configuration was settled on Com Profibus as well as STEP-7. In Com Profibus, S5-115U was configured as the DP master while S7-319 3PN/DP was configured as the slave. Several I/O addresses were distributed to S7-319 3PN/DP. At the same time in STEP-7, S7-319 3PN/DP was configured as DP slave mode with same I/O addresses compare to the configuration of Com Profibus. Then the whole configuration was completed. S5-115U as the DP master was controlling S7-319 3PN/DP as the DP slave while S7-319 3PN/DP was controlling the new CPX valve. With that method, S5-115U was available to

control the new CPX valve with a S7 as the interchange station.

S7-Slave method was experimented and proved to be available in solving the compatibility problem. S7-Slave method is concise and easy to apply. Therefore, S7-Slave method is very efficient on solving emergent problems. However, research groupver, S7-Slave method needs to purchase S7 PLC and to be installed on the old machine with complex data lines, which is very costly as well as unsafe. So, in order to solve the compatibility problem, the origin of the problem must be figured out. Research group continued to develop the GSD configuration files so as to control the new CPX valve by original S5 PLC set directly.

The GSD file is like an identification card for a DP equipment, it records the features of a DP slave station, and enables the DP slave equipment to be linked in the field bus no matter by which manufacturer it is designed. By studying the basic knowledge, concept as well as structure of the GSD file, our research group get to know how to understand the GSD language and further our research group can try to modify the GSD file. Our research group study the fundamental concept, classification, logic as well as structure of the GSD file and make some assumptions, eventually our research group succeed in modifying the GSD file. A GSD file can be divided into user parameters, diagnosis, modules as well as other parts. All the parts are the same no matter for S5 or S7, so the problem is most likely in the process of S5 configuration tool reading the modules of the GSD file. The GSD file our research group have is sketched from a valve group. it is so big that it is supposed to include all the modules available. In this GSD file, the most important part is modules and user data part. Our research group analyze carefully on the GSD file and finally figured out where the problem lies in. Actually, this is not an easy job, our research group have done a lot of assumptions and work before our research group find the real solution. Through a series of experiments, our research group confirm that the compatibility problem is caused by the numbers of different type of references in the modules of GSD file. The problem does not exit after our research group delete some references. So by modifying the GSD file, our research group meet the requirement of the SHANGHAI VOLKSWAGEN to make S5 control the new valve group directly. Our research group also modify the GSD file of ET200S in the same way as well as the new GSD file match the old S5 perfectly, which prove that our solution of modifying the GSD file can be adapted in many situations, and it is a good news for enterprises which are having the same compatibility problems because they do not have to stop production to upgrade their equipment. Our research group then do some further work: develop a GSD generator, which utilize the modules in the old GSD file as raw materials to form other GSD files, but this GSD file our research group use as a material pool is too old, so there are some modules that are not included. Our research group find out the modules that can be generated by our GSD generator to make our program more complete.

A GSD file can be divided into user parameters, diagnosis, modules as well as other parts. All the parts are the same no matter for S5 or S7, so the problem is most likely in the process of S5 configuration tool reading the modules of the GSD file. Through a series of experiments, our research group confirm that the compatibility problem is caused by the numbers of different type of references in the modules of GSD file. The problem does not exit after our research group delete some references. So by modifying the GSD file, our research group meet the requirement of the SHANGHAI VOLKSWAGEN to make S5 control the new valve group directly. Our research group also modify the GSD file of ET200S in the same way and the new GSD file match the old S5 perfectly, which prove that our solution of modifying the GSD file can be adapted in many situations, as well as it is a good news for enterprises which are having the same compatibility problems

because they do not have to stop production to upgrade their equipment.

As our research group all know, in the new centuries electric as well as control technique has been devoloing very fast as well as deeply. In common, every five to ten years' period will produce a revolution of electric control system. However, for companies and investors, the original manufacture lines have cost them a lot. They need to try its best to gain their value as much as possible. Ony then will investors begin to invest and reform a new manufacture system. Besides, once the manufacture lines are paused to begin the reforming process, industries will break their benefiting budget. At this case, investors will suffer great loss on both the reforming cost as well as the manufacture break.

Therefore, investors need to gain original lines' value as much as possible. Ony then will investors begin to invest and reform a new manufacture system. Then the original old control system has to be used for many years. When they face those compatibility problems, investors have to find solutions as many as possible. Our research group provide those investors with two efficient plans, which include 1. S7-slave method and 2. GSD configuration file repair.

As for S7-slave method, investor can ignore the origin as well as the shapes of the compatibility problems. Investor only need to confirm that the new hardwares are available as well as compatible to a cirtain S7 series PLC. Then apply the cirtain S7 PLC as a DP slave connected to the original old control system. And then the hardwares can be communicated as well as controlled by the original old control system. However, this mehod can ony be delt with some emergent situation and is costly and hard to install on the machine for a long term. In this case, investors have to figure out the origin of the compatibility problem and solve it.

GSD configuration file repair is the method studied by our research group aimed to Com Profibus 5.1 for S5 PLC system. When industries are facing compatibility problems on S5 Com Profibus softwares, they can applu our GSD configuration file repair tools called GSD Maker to repair and create an available GSD configuration file. Inside the repairing process, the waste modular parts of the GSD configuration file are removed so as to be recognized and exported by Com Profibus 5.1. Then the compatibility problems are solved with the new hardwares, such as the new CPX valves, ET200S and son, working under the original control system safe and sound.

Those two methods play a very important part in industies' solving those compatibility problems. It is very essential for industries to lengthen the life of the original old control systems as well as the machines.