

编号_____

南京航空航天大学

毕 业 设 计

题 目 可视化实验设计辅助工具的
研究和实现

学生姓名 李伟文

学 号 161430229

学 院 计算机技术与学院

专 业 软件工程

班 级 1614302

指导教师 康达周 讲师

二〇一八年六月

南京航空航天大学

本科毕业设计（论文）诚信承诺书

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文）（题目：可视化实验设计辅助工具的研究和实现）是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的成果。尽本人所知，除了毕业设计（论文）中特别加以标注引用的内容外，本毕业设计（论文）不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。

作者签名：

年 月 日

（学号）：

可视化实验设计辅助工具的研究和实现

摘 要

在实验流程中由于效益和成本限制，往往存在简化实验流程的需求，但很多实验参与者不懂得使用先进的实验设计方法导致了时间和资源的浪费。为了能利用计算机辅助人工利用实验设计方法优化实验方案，利用可扩展标记语言（XML）与可扩展标记语言架构（XSD）工具进行数据建模与数据管理，可以将实验因素建模模块、实验设计模块、实验分析模块解耦合。在此基础上实现了一套与实验设计方法无关的计算机辅助试验研究（CAR）的开发框架。基于该开发框架，利用 Qt 与 Web 应用结合的技术，设计了一套对用户友好的图形界面（GUI），并实现了该可视化实验设计辅助工具。用户可以在该工具的 GUI 上输入影响实验的各种因素，然后选择合适的实验设计方法。该工具就会自动生成可视化的试验方案图表供用户参考并完成实验流程。

关键词：实验设计，CAR，XML，XSD

Research and Implementation of Visual Experimental Design Aids

Abstract

Due to the limitation of benefit and cost, there is often a need to simplify the experimental process, but many experimental participants hear nothing of advanced experimental design methods and it leads to the waste of time and resources. In order to use computer-assisted artificial experimental design method to optimize the experimental program, the experimental factors modeling module, experimental design modules, experimental analysis modules are decoupled with the use of Extensible Markup Language (XML) and Extensible Markup Language Scheme Definition (XSD) for data modeling and data storage. On this basis, a set of Computer Aided Research (CAR) development frameworks unrelated to the experimental design method was implemented. Based on this development framework, a user-friendly graphical interface (GUI) was designed and the Visual Experiment Design Aids were implemented with the combined technology of Qt and Web Applications. The user can enter various factors affecting the experiment on the tool's GUI and select the appropriate experiment design method. The tool will automatically generate a visual test plan chart for the user to refer to and complete the experimental process.

Key Words: Experimental design; CAR; XML; XSD

目 录

摘 要	i
Abstract	ii
第一章 引 言	1
1.1 项目背景	1
1.2 国内外相关工具与研究现状	1
1.3 工具需求与研究目标	1
1.4 论文的组织结构	2
第二章 相关技术与工具	4
2.1 Boost	4
2.2 Qt	4
2.3 Web 语义化技术.....	4
2.3.1 XML.....	5
2.3.2 XSD.....	6
2.4 RSA 算法.....	8
2.5 十进制高精度实数类	9
2.6 本章小结	9
第三章 CAR 开发框架与可视化实验设计辅助工具的总体设计.....	10
3.1 系统需求	10
3.2 架构设计	12
3.2.1 软件结构设计.....	12
3.2.2 实验项目文件结构.....	13
3.3 模块设计	14
3.3.1. 模块协作设计.....	14
3.3.2. 图形界面接口的设计.....	16
3.3.3. 数据建模模块与数据建模工具的设计.....	17
3.3.4. 数据管理模块与实验数据管理工具的设计.....	18
3.3.5. 实验设计方法模块、实验分析模块与实验分析工具的设计.....	20

3.3.6. 实验报告工具集的设计.....	21
3.4 本章小结	22
第四章 CAR 开发框架与实验设计方法工具集的实现.....	23
4.1 数据建模模块的实现	23
4.1.1 格式化实验因素数据模型的实现.....	23
4.1.2 解析实验因素数据模型的实现.....	24
4.2 数据管理模块的实现	25
4.2.1 格式化实验数据数据模型的实现.....	25
4.2.2 解析实验数据数据模型的实现.....	26
4.2.3 校验实验数据数据模型的实现.....	27
4.3 实验设计方法模块和实验分析模块的实现	28
4.3.1 基于 CAR 开发框架实现正交设计方法.....	29
4.3.2 基于 CAR 开发框架实现析因设计方法.....	31
4.3.3 基于 CAR 开发框架实现均匀设计方法.....	34
4.4 本章小结	37
第五章 可视化实验设计辅助工具的实现	38
5.1. 图形界面的总体设计	38
5.1.1. 站点地图.....	38
5.1.2. 图形界面结构的设计.....	39
5.2. 实验项目文件管理器的设计与实现	39
5.2.1. 实验项目类.....	39
5.2.2. 实验项目文件目录.....	40
5.3. 数据建模工具及其图形化接口的设计与实现	41
5.3.1. 公共类型建模.....	41
5.3.2. 实验因素建模.....	41
5.4. 实验数据管理工具及其图形化接口的设计与实现	42
5.5. 实验分析工具及其图形化接口的设计与实现	43
5.6. 实验报告工具集及其图形化接口的设计与实现	44
5.6.1. 实验报告设计工具.....	44

5.6.2. 实验报告填写工具.....	46
5.6.3. 实验报告生成工具.....	46
5.7. 实验项目流程管理器的实现	47
5.7.1. 图形界面主视图的管控.....	47
5.7.2. 实验因素数据建模流程的管控.....	47
5.7.3. 生成、填写实验设计方案表流程的管控.....	48
5.7.4. 生成实验分析结果流程的管控.....	49
5.7.5. 设计、生成实验报告流程的管控.....	50
5.8. 本章小结	52
第六章 可视化实验设计辅助工具的应用	53
6.1. 场景描述	53
6.2. 实验因素数据建模	53
6.3. 生成实验设计方案表	58
6.4. 读写实验设计方案表	59
6.5. 生成实验分析结果	60
6.6. 本章小结	62
第七章 总结与展望	63
参 考 文 献	65
致 谢	66
附 录	67

第一章 引言

1.1 项目背景

在生产和科研中，某一项指标值会受到很多不确定因素的影响。为了找到它的某一个标准值以达到效益最大化，经常需要做多因素多水平的实验。如果对各个因素水平对集合叉乘所得的因素水平元组集合中的每个因素水平元组进行实验，一般而言是不符合效益的。而实践证明，进行这样大规模的全面实验只是在浪费时间和资源。利用正交实验设计、均匀实验设计方法、析因设计方法等科学的实验设计方法，可以选出一些关键的因素水平元组，根据选出来的这些搭配来安排实验可以在可接受的成本范围内求得一个较优解。

但实验设计方法与结果分析在实际使用上较为繁琐且机械化，步骤太多太复杂，计算量也十分庞大。使用计算机辅助试验设计研究（Computer Aided Research，下简称 CAR）系统，使实验设计更易为人们利用。^[1]

1.2 国内外相关工具与研究现状

现在常用于实验设计与数据处理的 SPSS、SAS、JMP 等工具，从用户接口逻辑的设计上看，其本质是统计分析工具，学习成本高，并且没有针对实验设计有相关的优化。而以实验设计为基点进行设计的工具，目前仍然没有成熟的产品出现。

虽然相较于正交试验助手，金宁宁和张芝永设计的基于 Visual Basic（下简称 VB）的正交试验设计的软件支持任意的因素和水平个数，但仍然存在实验流程与实验设计方法耦合问题。^[2]他们并没有将数据建模、数据管理作为独立的流程考虑，导致实验流程与正交试验设计方法绑定了在一起。

许文腾，卢湛夷和曲宏宇利用可扩展标记语言（Extensible Markup Language，下简称 XML）实现的实验设计工具实现了数据管理与实验设计、实验分析的解耦合，并提供了跨平台数据实验存储方案。^[3]他们在数据建模上采用的工具也是 XML，但 XML 本身并没有提供自描述的功能，所以他们使用一套自定的规则、约束来进行数据建模。因此，他们的这套实验存储方案实际上对数据模型的表达能力并不强。

1.3 工具需求与研究目标

本项目的研究目标是设计并实现一套兼容多种实验设计方法的可视化实验设计辅助工具。其主要分为：

(1) **CAR 开发框架的设计与实现：**设计并实现基于可扩展标记语言框架（Extensible Markup Language Scheme Definition，下简称 XSD）的数据建模模块，设计并实现基于 XML 的数据管理模块，设计并实现基于上述两模块的实验设计方法模块、实验分析模块，这些模块应当只存在最高为数据耦合级别的耦合，其中实验设计模块不应当提供某个具体的实验设计方法，实验分析模块也不应当提供某个具体的分析方法，令根据实际情况订制实验设计方法存在可能；

(2) **实验设计方法工具集的实现：**基于 CAR 开发框架的实验设计模块，实现一些常见的具体的各个实验设计方法，例如各个因素和水平个数的正交试验设计方法；

(3) **实验数据校验、统计、分析工具集的实现：**基于 CAR 开发框架的实验分析模块，实现具体的各个实验数据校验、统计、分析方法；

(4) **可视化实验设计辅助工具的设计与实现：**为 CAR 开发框架的四个模块提供图形化的用户接口，并在此基础上添加一个实验报告模块用于导出实验分析生成的结果并自动化生成实验报告。

1.4 论文的组织结构

本篇文章主要阐述了 CAR 开发框架的设计与实现，并基于此开发框架，完成可视化实验设计辅助工具的设计与实现。本文首先描述了项目背景和国内外相关工具与研究现状，接着对基础技术、CAR 开发框架与可视化实验设计辅助工具的总体设计、XSD 文档的解析器与格式化器的设计与实现、XSD 建模在实验设计上的应用等部分进行描述。

本篇文章的主要结构如下：

第一章重点介绍项目背景。先是阐述了国内外相关领域工作人员使用的工具的特点及不足之处。然后介绍了为了解决这些不足之处，与本文方向相同的解决方案的研究现状。最后简要阐述了本文的解决方案。

第二章主要阐述了本文针对项目背景的需求提出的解决方案所需要用到的一些技术与工具。主要为 Web 语义化技术、RSA 算法、十进制高精度实数、Qt 等。

第三章先是给出了 CAR 开发框架与可视化实验设计辅助工具的系统需求和设计原理。然后给出了具体的架构设计与模块设计，并介绍了这个解决方案的功能流程。最后描述了基于 CAR 开发框架实现实验设计方法的接口约束与模块约束。

第四章则阐述了使用 XSD 实现的数据建模模块如何在第三章阐述的解决方案中实现将实验流程的各个部分解耦合以及 CAR 开发框架的具体实现。然后以正交设计方法、析因设计

方法和均匀设计方法为例，阐述了基于该解决方案根据需求实现实验设计方法的具体步骤。

第五章主要阐述了可视化实验设计辅助工具图形界面的设计与实现，为 CAR 开发框架的各个模块提供图形化接口。

第六章以一个实际的例子，展示该可视化实验设计辅助工具在实验设计上的应用方法与流程。

总结和展望则对毕设工作进行了一定的总结，阐述所设计的解决方案中的缺陷，并给出一些可以进行优化的方向。

第二章 相关技术与工具

2.1 Boost

Boost 是一个开源的同行评审的可移植的 C++源代码库，它的设计注重与 C++标准库的协同工作。

本文核心部分涉及到的 Boost 库主要有：

- (1) **Property Tree**：一种用于存储配置数据的树形结构，主要用于解析 XML 文档构建 XML 的内存模型和将 XML 内存模型格式化成 XML 文档；
- (2) **Multiprecision**：一种用于浮点数、整数和有理数运算的拓展精度算数类型，主要用于构建十进制高精度实数类群；
- (3) **Preprocessor**：一个包括循环和递归的元编程工具，主要用于将十进制高精度实数类群的静态精度通过元编程转换为动态精度；

2.2 Qt

Qt 是一个完整的跨平台软件框架，包含现成的用户接口（UI）元素，C++库以及完整的集成开发环境（Integrated Development Environment，下简称 IDE），包含开发任何项目所需的任何软件。

本文主要使用 Qt 的 GUI 库实现可视化实验设计辅助工具的 GUI 部分。其中，GUI 的框架使用 QWidget 库搭建，使用 C++实现；GUI 的核心部分采用 QWebEngineView 库，使用 Html5 / CSS3 / JavaScript 实现。

2.3 Web 语义化技术

得益于当今原生应用开发工具和 Web 应用开发工具的迅速迭代升级，现在的所有软件开发工具除了能进行结构化数据的处理，非结构化数据、多媒体数据、流数据等也不在话下。除此之外，除了与用户交互的数据外，从其他设备采集来的实时数据、非实时数据也被用在不同的应用中。因此，数据的数量以及种类与开发工具一样呈现了一种爆发式的增长。这给数据组织以及数据自描述的工作带来了很大的挑战。

为了对种类繁多数量巨大的数据进行处理，但同时又要做到处理速度快、处理结果好、处理结果稳定且便于拓展，需要有一种智能的处理方法能让机器理解数据并用只是表达语言来描述 Web 页。一种新的 Web 框架提出，也就是语义 Web。它的核心是将 Web 资源和能够

被一定的程序解析的语义元数据（Meta Data）绑定在一起，使不同的 Web 应用之间能够不需要适配器或翻译器直接进行数据交互。^[4]

语义 Web 的技术栈大致分为数据模型、资源模型、语义模型以及本体工程。本文主要使用其中的数据模型部分的相关技术与工具，因此就不赘述资源模型、语义模型以及本体工程的相关内容。

本文主要使用数据模型中的 XML 和 XSD。

2.3.1 XML

XML 由标准通用标记语言（Standard Generalized Markup language, ISO8879，下简称 SGML）派生而来，是一种简单且非常灵活的文本格式。它最初的设计时为了应对来自大规模电子出版的挑战。不过，XML 目前也在 Web 等各个领域与数据相关的方面发挥着各种各样的越来越重要的作用。^[5]

本文在处理 XML 时，解析器与格式化器采用 Boost 的 Property Tree 库的 XML Parser 工具。由于 XSD 的解析需要先将 XSD 文档全部读入内存后，对各个标签节点根据其与子节点提供的关键字与所需要的关键字进行拓扑排序。因此，需要设计并实现一个内存模型能够保存 XML 的所有信息。

根据 SGML 的语法，XML 的数据是一种树状结构，每个节点有且仅有一个标签（Tag）。除此之外，每个节点的数据还有元素值（Content）、元素属性（Attr）以及一个辅助数据路径（Path）。其中，Attr 在每个节点应当是一个键值对映射表。

所以，应当存在两种内存对象，一种是文档，一种是节点。文档拥有一个所有根节点强引用的数组。每个节点除了自己的数据段外，还应当拥有一个索引段，包含一个子节点的强引用数组。为了方便使用，在索引段添加一个自身的弱引用和双亲节点的弱引用。

内存模型如图 2.1 所示，其类图如图 2.2 所示。

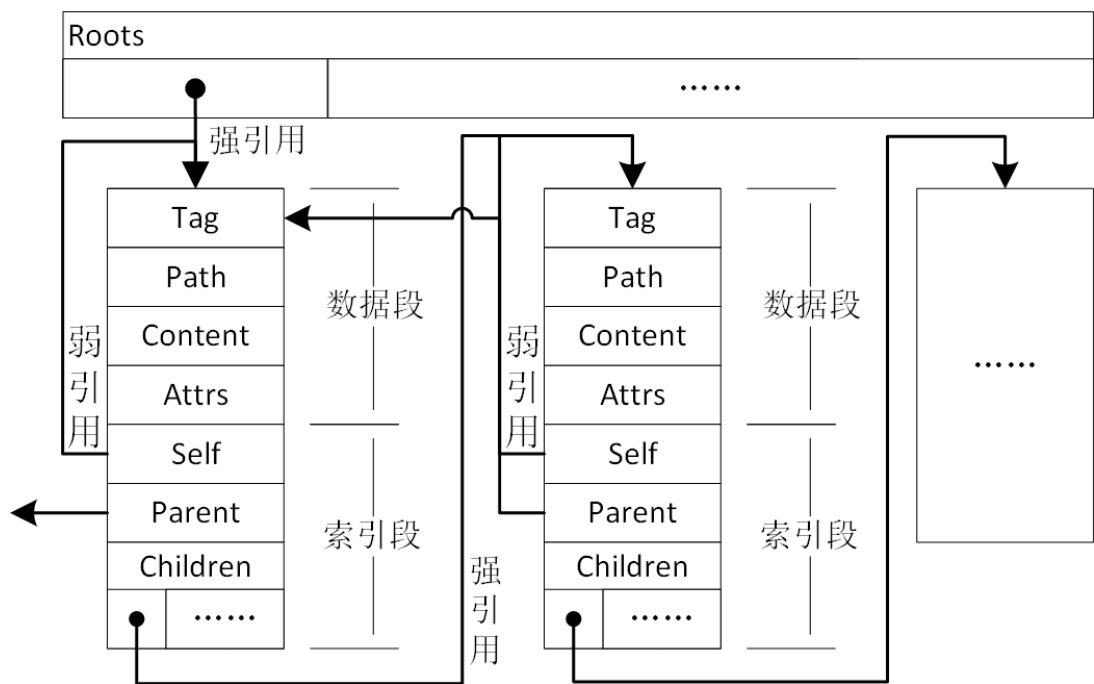


图 2.1 XML 内存模型

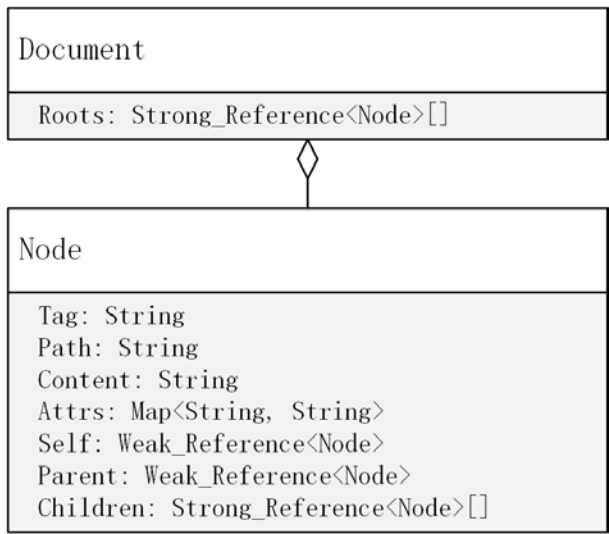


图 2.2 XML 内存模型类图

2.3.2 XSD

XSD 是使用 XML Schema 语言实现的用于描述 XML 文档结构的工具，而 XML Schema 语言本身是基于 XML 实现的，所以 XSD 实际上是 XML 的一种自描述工具。因此，XSD 可以与 XML 公用内存模型并从 XML 分析所得，并格式化成 XML，进而使用 XML 的解析器与格式化器完成 XSD 文档的读写。

XSD 携带有 XML 文档结构所描述的数据的定义以及约束，大部分对 XSD 的应用的方向都是对 XML 文档的静态分析、校验，只有少部分将其应用于数据建模上。但是，在开源社

区能找到的，将 XSD 应用于数据建模上的库大多数是将数据模型生成为静态类型，例如 LMX¹、CodeSynthesis XSD² 等，它们都是将 XSD 文档转写成 C++ 的静态类代码。但在实际的数据建模应用中，数据模型应当是一个动态模型。

其类图如图 2.3 - 2.6 所示。

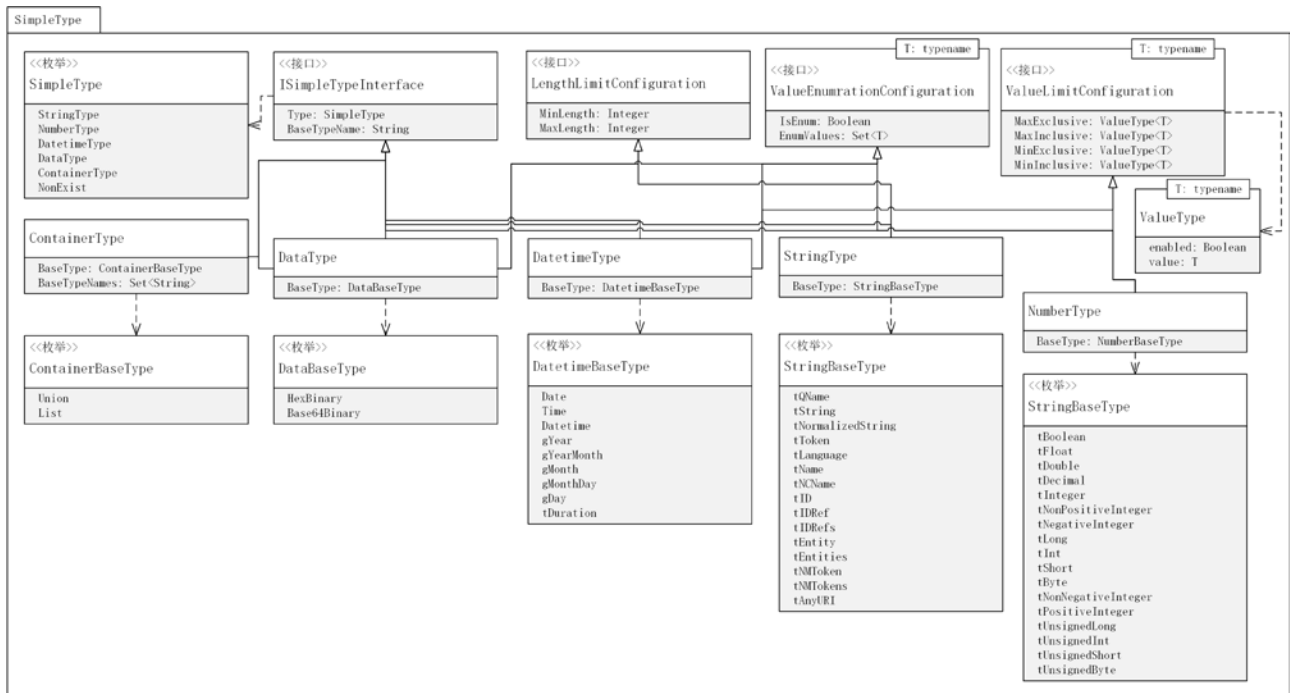


图 2.3 XSD 简单类型类图

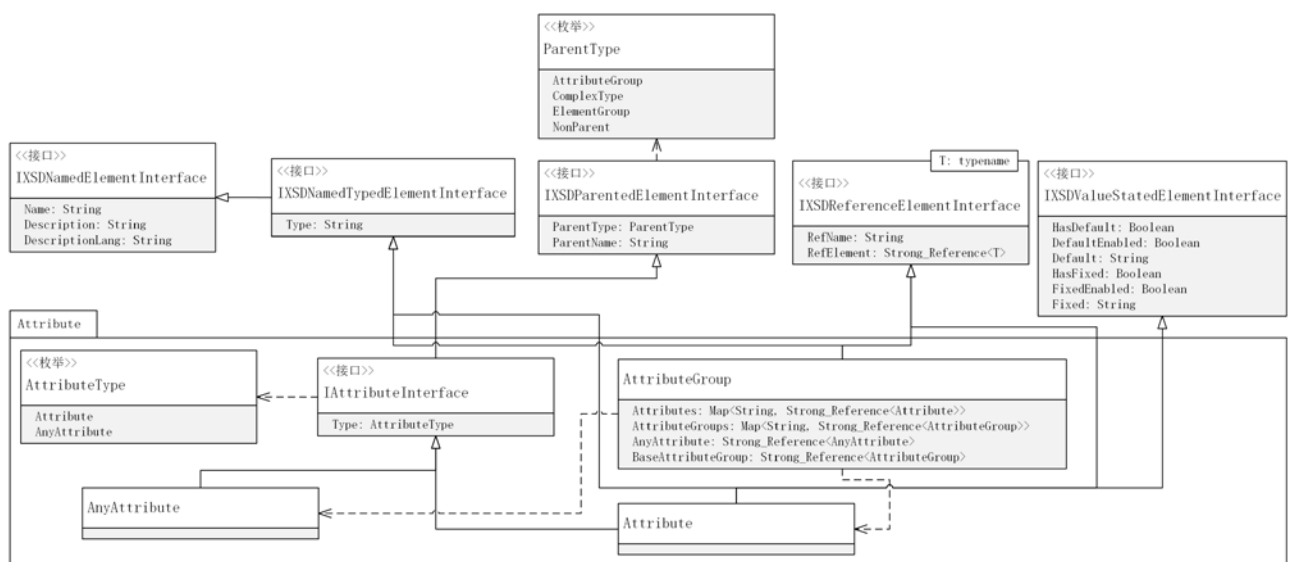


图 2.4 XSD 属性类图

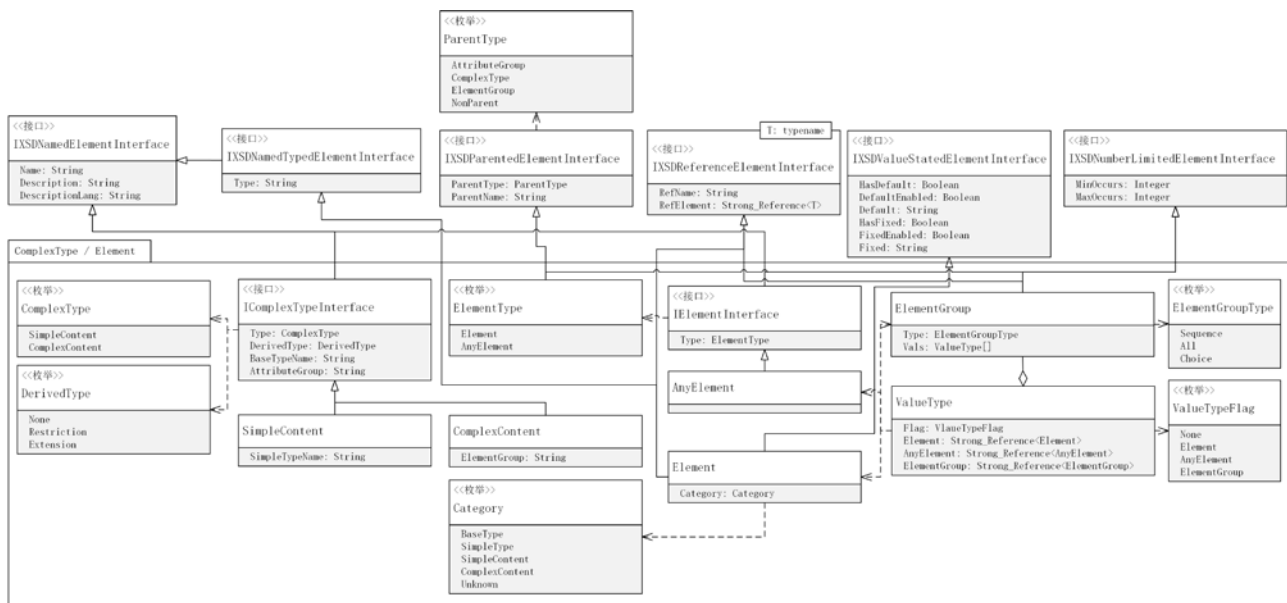


图 2.5 XSD 复合类型和元素类图

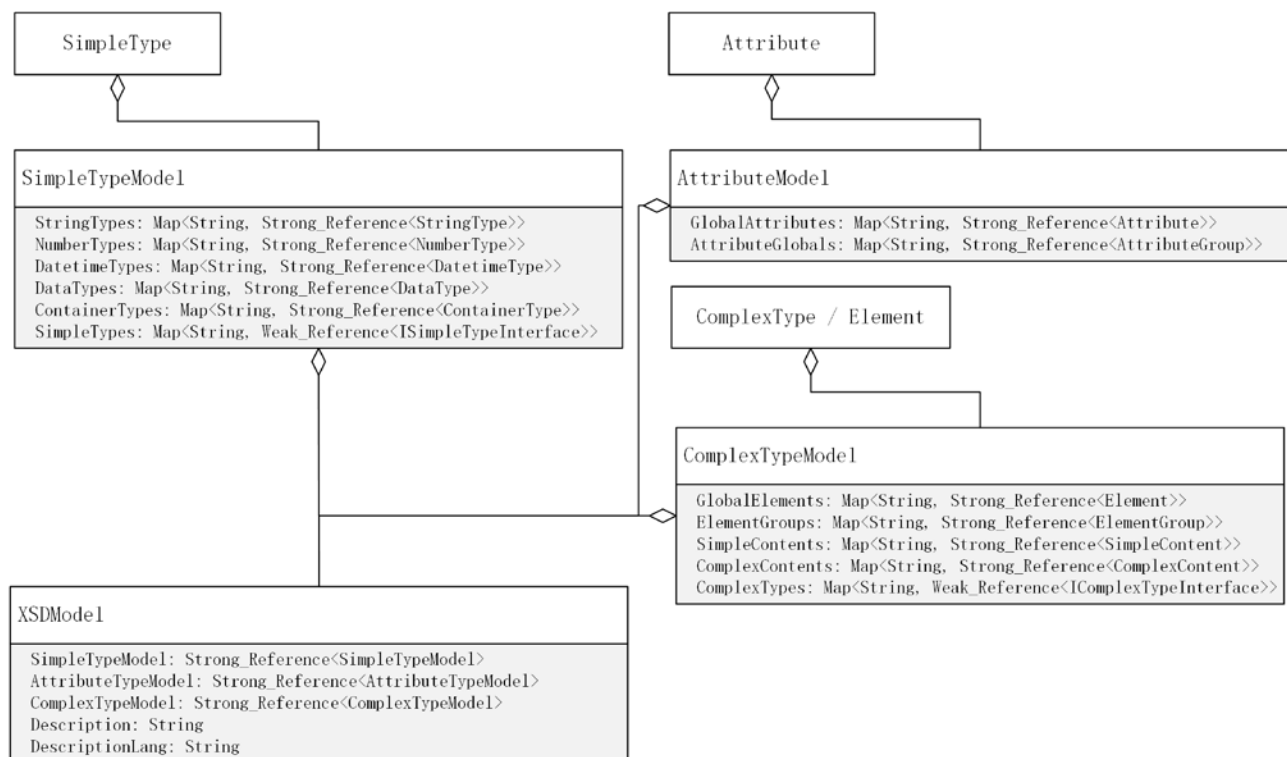


图 2.6 XSD 模型类图

2.4 RSA 算法

RSA 是一种现在仍被视为安全的公钥密码算法，它建立在“两个大素数的乘积分解困难”这一基础上。RSA 数字签名是利用 RSA 算法对消息进行数字签名。^[6]

RSA 数字签名基于 RSA 算法生成的私钥，使用 RSA 加密算法获取一段明文的签名数据

段，然后通过私钥匹配的公钥验证原始数据与签名数据是否匹配。本文将使用 Crypto++ 库的 RSA 算法工具作为 RSA 算法作为实现。

2.5 十进制高精度实数类

由于计算机使用二进制进行编码，所以我们常用的 IEEE754 标准的浮点数在十进制下并不能保证很好的精度。32 位浮点数（float）能保证的精度为 6 位，64 位浮点数（double）能绝对保证的精度为 15 位，而能保证的精度后面的位数是根据编译器实现决定的。所以在不同的编译环境下，如果没有做精度限制，同样的计算可能会产生不同的结果。

在性能并不存在瓶颈的前提下，为了能在使用计算机进行科学运算时有一个确定的且可拓展的精度，本文采用 Boost.Multiprecision 库的整数类和十进制浮点数类，它们的编码是十进制且精度是可控的。在编码时，配合 Boost.Preprocessor 的元编程工具的循环功能，把静态精度的代码展开生成各个精度的 if-else 分支代码，实现动态精度的功能。

2.6 本章小结

本章主要介绍了本文实现 CAR 开发框架与可视化实验设计辅助工具时所要用到的相关技术与工具，包括 Boost、Qt、Web 语义化技术、RSA 算法、十进制高精度实数类等。其中，需要自己提供实现的 XML 内存模型、十进制高精度实数类则同时给出了设计方案以及核心的定义实现代码。

第三章 CAR 开发框架与可视化实验设计辅助工具的总体设计

3.1 系统需求

本系统需求的主要方向是为用户提供计算机辅助实验的功能，然后在其中的实验方案设计流程中加入科学的实验设计方法。

使用实验设计方法完成实验流程的基本步骤如下：

- (1) 明确实验目的，选定实验指标因素；
- (2) 选定实验因素和水平值，并根据将要选用的实验设计方法确定属性值；
- (3) 选用实验设计方法，在实验因素的取值范围内给出挑选代表点，然后根据实验设计方法的约束，制作实验设计方案表；
- (4) 按实验设计方案表进行实验，记录实验结果；
- (5) 结果分析，并制作实验报告。

从实验流程中，可以知道，数据总共有两种，一为实验因素，一种是实验数据。其中，实验因素的数据携带的信息含有实验数据的定义。所以，实验因素应当选用一种带有数据结构定义的数据格式存储。为了方便实现，并提供一定的拓展性以方便后续的修改或模块化，选用较为简单但满足基本功能的 XML 和 XSD 用于存储实验数据和实验因素。那么，项目的索引文件也选用 XML 存储。

然后，以该实验流程为基准，将各个流程的用户操作与其会生成的文件并列，并根据实验操作对各个文件的操作以及各个文件之间的关系，我们可以得到如图 3.1 所示的功能流程图。

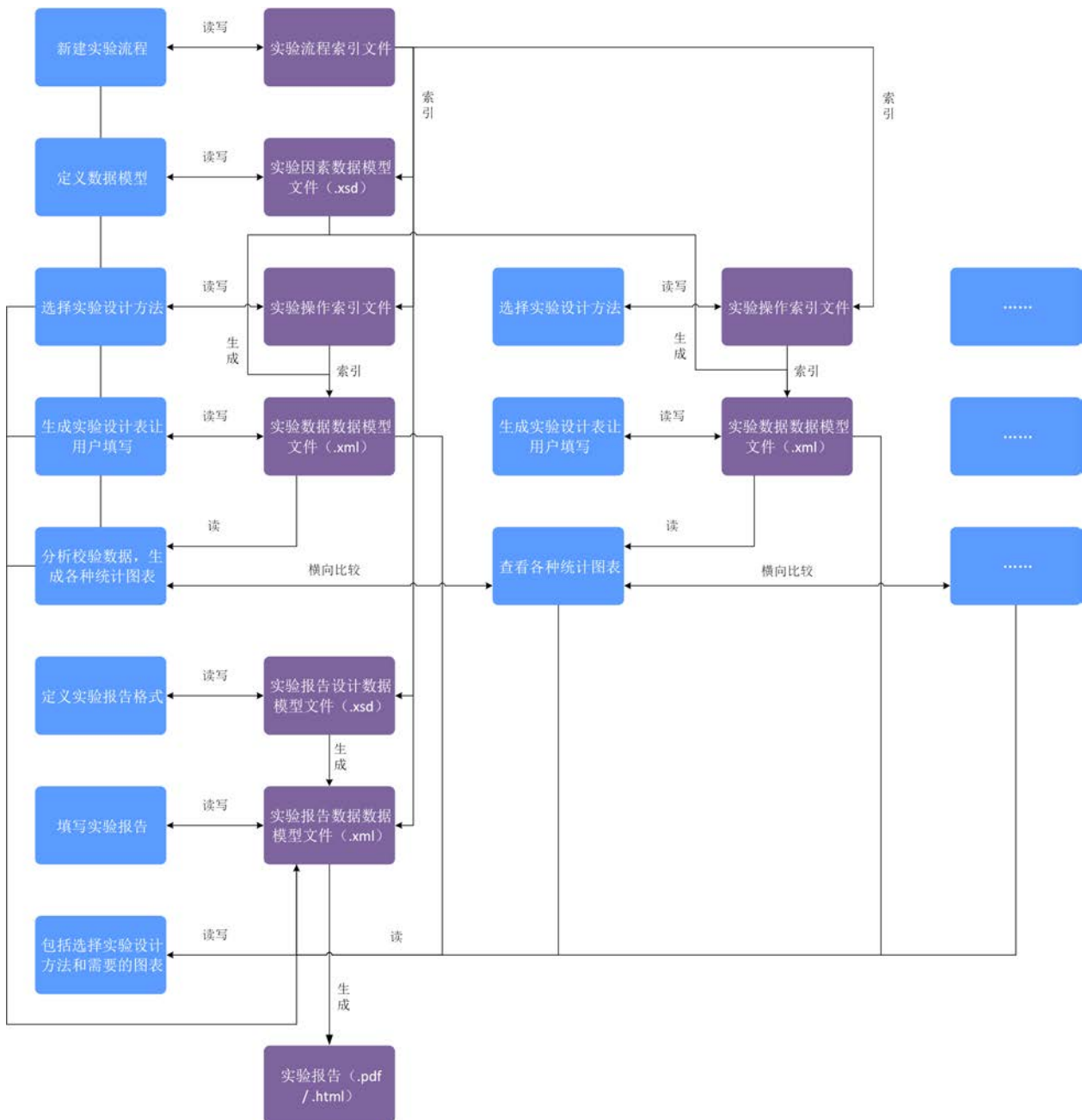


图 3.1 功能流程图

其中，蓝色的是用户操作，紫色的是生成的文件。从功能流程图中，可以得到功能性需求的约束：

(1) 在定义数据模型流程中，显然需要系统有实现动态数据建模的功能，所以本文选用了 XSD 作为数据建模的核心、XML 作为数据管理的核心作为解决方案。

(2) 在选择实验设计方法流程中，显然需要系统对实验设计方法的依赖应当依赖公有的抽象接口，而不是某个实验设计方法的具体实现。在实现上需要强制让某个实验设计方法的实现派生自公有的抽象接口类，然后通过某个标记值映射到对应的工厂方法来调取对应的实验

设计方法的实现。这一点可以通过 TMP 的类型校验保证不符合约束的实现不能通过编译。

3.2 架构设计

3.2.1 软件结构设计

根据需求，本文设计的解决方案的软件结构图如图 3.2 所示。

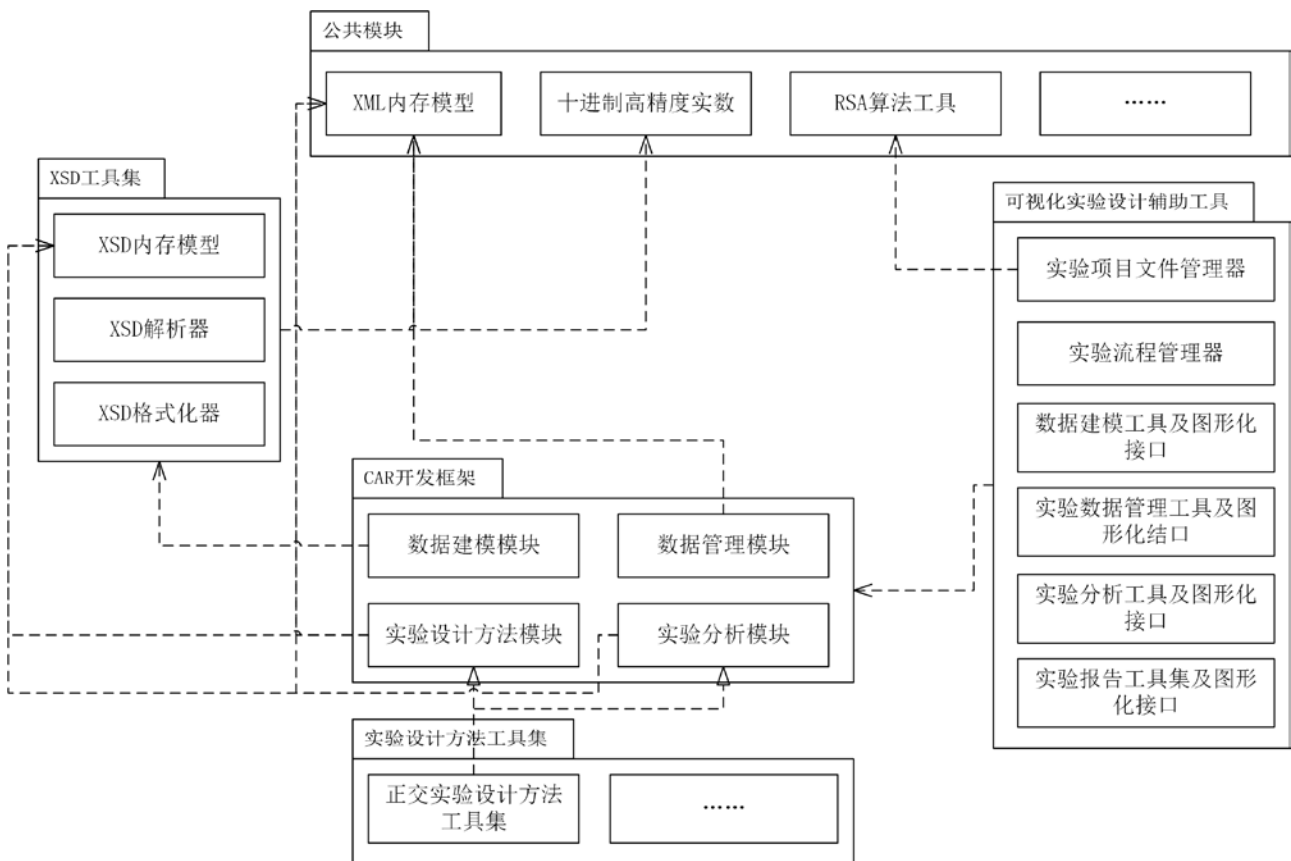


图 3.2 软件结构图

这个解决方案由三大块组成：

(1) 公共模块与 XSD 工具集：为 CAR 开发框架和可视化实验设计辅助工具的实现提供功能性模块；

(2) CAR 开发框架与实验设计方法工具集：提供与实验流程的业务有关的所有功能模块，并支持扩展实验设计方法。基于增量更新原则，其中实验设计方法工具集中的所有具体的实验设计方法的实现均应当提供 CAR 开发框架中实验设计方法模块和实验分析模块的接口实现，并在索引表上添加上自己的标记值和工厂方法；¹

(3) 可视化实验设计辅助工具：为 CAR 开发框架提供图形界面，并集成实验报告设计、实验报告填写、实验报告生成工具等的实验报告模块。

1. 由于时间关系，并没有实现动态配置工具集的功能，如没有特别说明，索引表均是指静态索引表，下同。

这样设计的主要目的就是数据建模模块、数据管理模块、实验设计方法模块、实验分析模块的耦合度降低到数据耦合的级别。它们只通过传递 XML 内存模型或 XSD 模型来进行协作完成实验流程的任务。将与具体的实验设计方法有关的实验因素模型、实验设计表的生成，实验结果的分析封装在了核心的实验设计方法模块、实验结果分析模块中，向模块外隐藏所有细节。这就使得核心的实验设计方法模块、实验分析模块的易修改性非常突出，且对它们的修改基本不会违背增量修改原则。

它们的管控则由可视化实验设计辅助工具的实验流程管理器来实现，XML 内存模型和 XSD 模型以及它们的读写（IO）操作则由实验项目文件管理器来实现。

基于此框架，开发人员就能在不违背增量修改的原则下，根据用户的实验设计方法需求、领域需求等实际需求订制实验设计方法模块和实验分析模块。例如，如果用户对某个特定的实验设计方法有需求，开发人员就根据实现约束实现该实验设计方法然后在索引表上添加必要的信息，即可为用户提供该实验设计方法。

3.2.2 实验项目文件结构

按照 3.1 整理的功能流程图中生成的文件，本文的设计方案让实验项目文件管理器按照图 3.3 的目录结构组织实验项目文件。

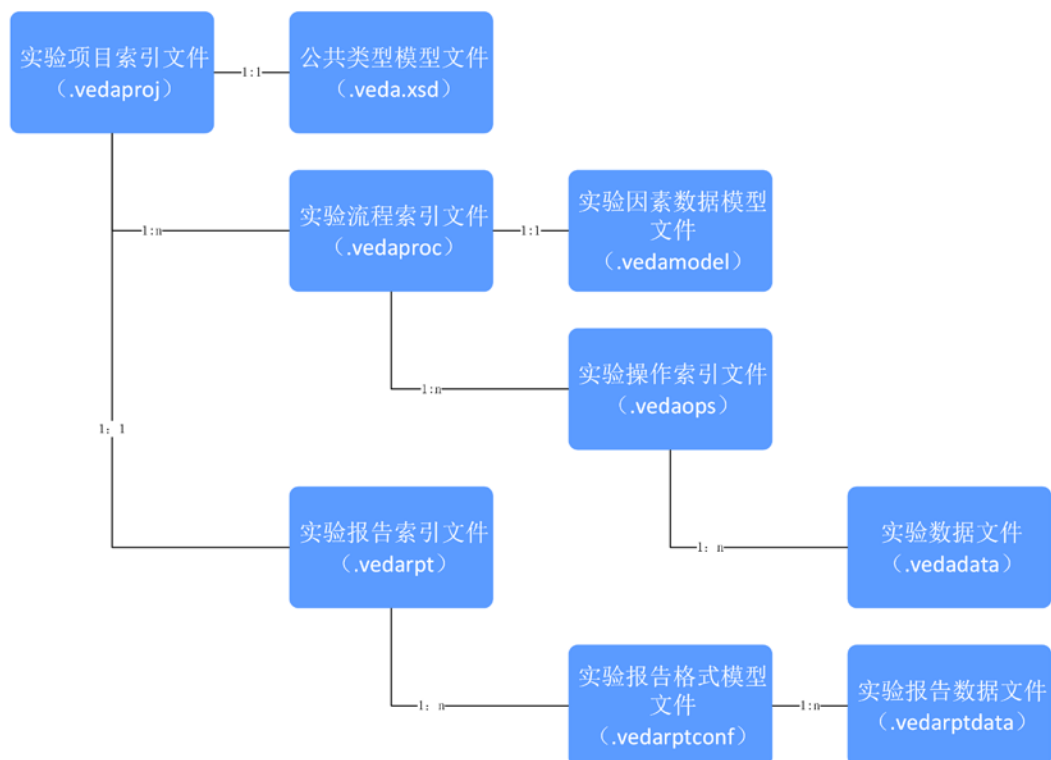


图 3.3 实验项目文件目录结构

其中，实验设计方法的标记值在实验操作索引文件中。

为避免用户的错误操作导致实验项目文件管理器发生错误，在索引文件与被索引文件之间有一个使用 RSA 算法数字签名功能进行校验的机制：基于 RSA 算法，项目文件和实验方法文件保有私钥、公钥以及一个随机数据块。在新建他们索引的文件时，将新建文件的文件名和数据块拼接成一个新的数据块并通过公钥加密。被索引的文件中记录有初始文件名和加密后的数据块。重新构建索引关系校验时，用私钥解密数据块，与初始文件名以及随机数据块拼接成的数据块进行比较，若相同则认为校验正确。

3.3 模块设计

3.3.1. 模块协作设计

模块间的协作主要发生在实验流程管理器的实现内部，对应的是实验流程的推进。在不同的实验流程中，实验流程管理器要调用不同的模块完成当前实验流程需要完成的任务。例如：在数据建模阶段，实验流程管理器需要调用数据建模模块来生成实验因素数据模型文件；在新建实验操作阶段，实验流程管理器需要调用数据建模模块生成空的实验数据文件交给数据管理工具；等。

模块协作所需要实现的功能，只需要将图 3.1 的用户操作展开至模块功能的粒度即可获得大概的框架。然后，根据各个模块所依赖的数据结构，将 CAR 开发框架各个模块与存在数据交互的可视化实验设计辅助工具的子工具根据实验流程的顺序连接起来，即可得到模块协作流程图，如图 3.4 所示。

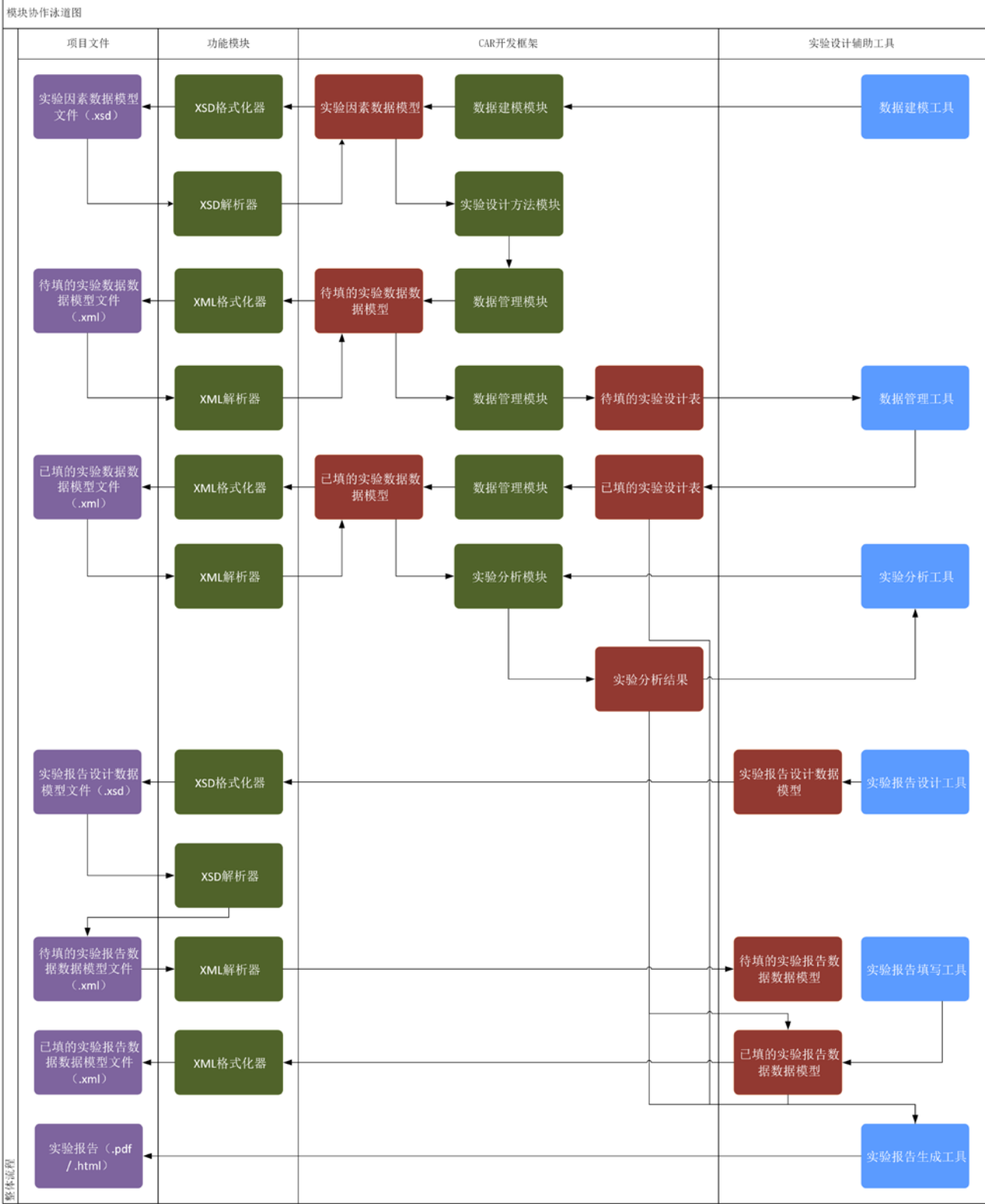


图 3.4 模块协作泳道图

其中，紫色的是实验项目文件，绿色的是 CAR 开发框架的模块或功能模块，红色的是 CAR 开发框架与实验设计辅助工具进行数据交互的数据结构 / 内存模型，蓝色的是可视化实验设计辅助工具提供给用户的子工具。

3.3.2. 图形界面接口的设计

本文主要使用 Qt 的 GUI 库实现可视化实验设计辅助工具的 GUI 部分。其中，GUI 的框架使用 QWidget 库搭建，使用 C++ 实现；GUI 的核心部分采用 QWebEngineView 库，使用 Html5 / CSS3 / JavaScript 实现。GUI 框架在加载 Web 页面时，可以通过指定 Html5 文件的 url 将其和所引用的资源全部加载进来，因此只需要向 QWebEngineView 类提供根页面的 url 即可。后端与前端的交互需要通过 QWebEngineView 的子对象 QWebChannel 执行，后端需要向 QWebChannel 注册一个接口对象，并基于它一个标识符，在 js 端就可以获得与标识符同名的对象。

C++ 接口对象上使用 Q_INVOKABLE 元编程标识符的接口、信号和槽会在预编译期注册在该 js 对象的原型对象上，C++ 接口对象也可以直接使用 QWebChannel 提供的接口运行 js 脚本。除了直接调用之外，也可以使用 js 对象上的信号和槽利用 Qt 的“信号-槽”机制实现通信。

实际的通信是在 QWebChannel 中的 WebSocket 实现的同步通信，具体的细节对用户是隐藏的，它的目的是为使用 QWebEngineView 的用户提供一个数据耦合的前后端通信功能。但利用 QWebChannel 在两端搭建通信的使用方法仍旧过于繁琐，且由于需要利用运行中动态类型识别（Run-Time Type Identification，下简称 RTTI）才能识别接口类型，难以提供统一的接口和标识符的自动化生成，但若使用 RTTI 则违背了增量修改原则。

所以，采用模板模式，利用泛型编程封装上述操作，让编译器为每个接口类型自动生成代码，以隐藏并复用利用 QWebEngineView 和 QWebChannel 实现 C++ 与 js 之间通信的细节。在实现 Web 控件时只需要继承两个接口类，并在 C++ 和 js 两端实现所需的接口、信号和槽即可。

类图如图 3.5 所示。

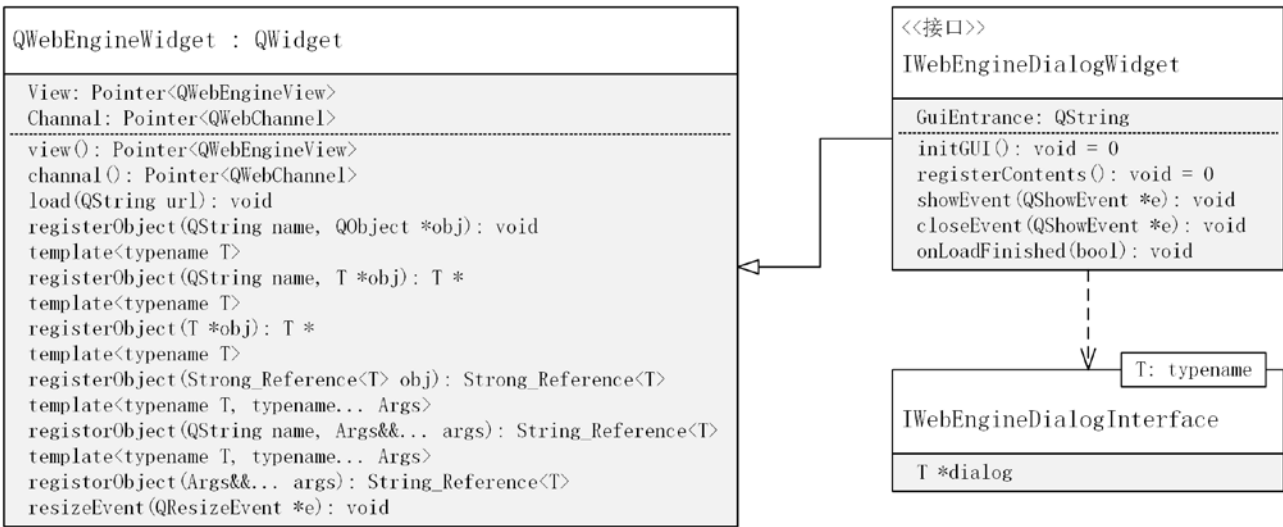


图 3.5 Html5 视图与接口类类图

3.3.3. 数据建模模块与数据建模工具的设计

3.3.3.1 实验因素数据模型

实验因素的值大体上是一个实体，值的类型基本上是实数、字符串、时间日期，并携带若干个属性和约束，例如水平值、样本量等。所以实验因素的类型基本上可以用派生自选定的基础类型的 XSD 仅含文本复合类型表示。约束存储在该复合类型派生自的 XSD 简单类型中，属性则存储在该复合类型的属性表中。如果存在有子因素的实验因素，可以将实验因素的类型改为 XSD 混合内容复合类型，然后在其元素组放入一个标签为某个标记值的元素，其类型是该实验因素值类型对应的仅含文本复合类型。

在具体的实验中，实验因素大致上分为三类，实验因素、指标因素和非指标因素。为了标记实验因素的类型，在实验因素的属性表上拓展一个实验因素类型属性值，其值为该实验因素类型对应的枚举值。

所以，实验因素的数据模型就是一个 XML 内存模型串，每个 XML 内存模型的数据是一个 XSD 仅含文本复合类型。

3.3.3.2 数据建模模块与数据建模工具的设计

数据建模模块主要提供为实验因素建模优化的创建、管理 XSD 模型的接口，即格式化实验因素数据模型的接口。该接口通过数据建模工具传递的原始信息转写成 XSD 模型后便于存储，为数据管理模块、实验设计方法模块和实验分析模块提供用户自定义的数据结构的定义。原始信息应当是一个元组表，元组的数据结构为（实验因素名，基础类型名，实验因素类型，包括备注等基础信息，约束和属性...）。为了提供修改功能，该接口还应当提供一个参数位，

用于传递一个已经存在的 XSD 模型。相对的，应当存在有一个解析 XSD 模型成这个元组表返回供用户在数据建模工具修改的接口，即解析实验因素数据模型的接口。由此可知，数据建模工具的接口应当有两个，一个用于保存时获取用户填写的原始信息生成 XSD 模型，一个用于切换至数据建模工具视图时读取 XSD 模型生成表单让用户填写。

为了让 CAR 开发框架的用户在实现实验设计方法时，根据需求在实验因素上拓展一些属性。例如，实验因素的作用是非均匀的实验设计方法应当在实验因素上面附带有加权参数以告诉实验设计方法该实验因素的加权值；实验因素的水平值的作用是非均匀的实验设计方法应当在实验因素上面附带有各个水平值的加权参数，可以使用格式化字符串表示，而类似这种需求，该格式化字符串的解析应当交由实验设计方法的实现部分来实现，以告诉实验设计方法该实验因素各个水平值的加权值。

数据建模模块还应当提供一个属性表，里面含有实验因素常见的属性，提供给使用数据建模工具的用户用于对实验因素进行解析和建模，它将存储在该 XSD 仅含文本复合类型的扩展属性表中。而 CAR 开发框架的用户在实现实验设计方法时可以根据实际需求，拓展该属性索引表，以供使用数据建模工具的用户在工具上填写。

类图如图 3.6 所示。

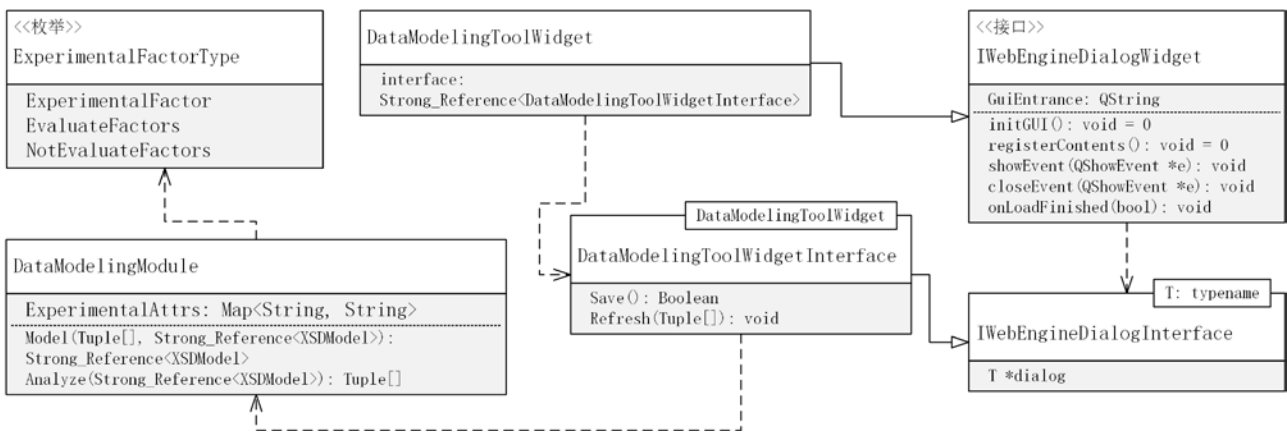


图 3.6 数据建模模块与数据建模工具类图

3.3.4. 数据管理模块与实验数据管理工具的设计

3.3.4.1 实验数据数据模型

实验数据的数据结构是实验设计表，使用 XML 内存模型存储。

实验设计表主要用于向用户展示实验安排并提供表单填写每次实验的指标值，它的表头由实验号、若干个实验因素、若干个指标因素、若干个非指标因素组成，如表 3.1 所示。

所以，它应当是一个元组表和一个字符串表的二元组。其中，元组的数据结构为（实验

号，实验因素 1 水平值，实验因素 2 水平值……，指标因素值 1，指标因素值 2……，非指标因素值 1，非指标因素值 2……)；字符串表用于记录各个实验因素、指标因素和非指标因素的名字。

所以，实验数据使用 XML 内存模型存储时，除了要满足实验因素数据模型存储的 XSD 类型约束之外，还要满足各个实验因素、指标因素和非指标因素在每次实验数据的节点中有且唯一。

表 3.1 实验设计表的样式

实验号	实验因素			指标因素			非指标因素		
	1	2	1	2	1	2
1									
⋮									
n									

3.3.4.2 数据管理模块和实验数据管理工具的设计

数据管理模块提供从实验设计表生成 XML 内存模型、从 XML 内存模型解析出实验设计表和校验已经填写完的实验设计表的数据的功能。

实现实验设计方法模块时，需要通过解析 XSD 模型提供的用户自定义的数据结构的定义解析出实验因素后，根据特定的实验设计方法生成实验设计表，并通过数据管理模块提供的接口转化成 XML 内存模型用于存储，即格式化实验数据数据模型的接口。

用户通过实验数据管理工具读写实验数据，也就是读写实验设计表时，需要使用数据管理模块提供的接口，将用于存储的 XML 内存模型解析成实验设计表，在用户读写完之后，再将实验设计表格式化 XML 内存模型存储。所以数据管理模块还需要一个解析实验数据数据模型的接口。

而实现实验分析模块时，首先需要分析该实验数据是否与当前的实验因素数据模型相匹配，则使用数据管理模块校验已经填写完的实验设计表的数据的功能的接口，该接口除了校验实验数据数据模型的静态约束外，还可以利用 XSD 模型提供的用户自定义的数据结构的定义来校验实验数据的动态约束。

类图如图 3.7 所示。

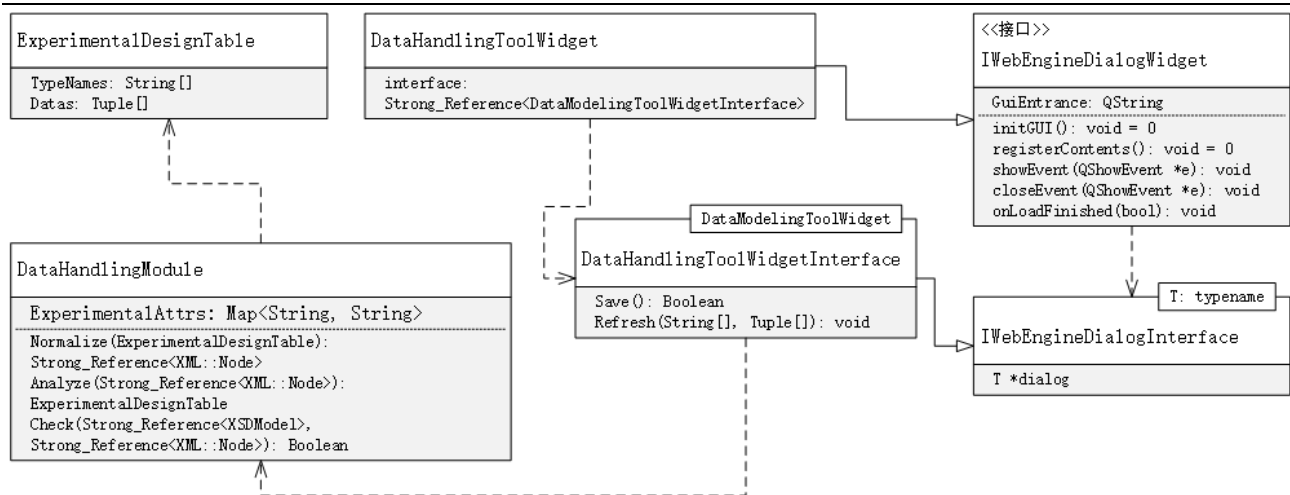


图 3.7 数据管理模块与实验数据管理工具的类图

3.3.5. 实验设计方法模块、实验分析模块与实验分析工具的设计

所有的实验设计方法本质上就是在实验因素的取值范围内给出挑选代表点的方法，所以可以将实验设计方法挑选代表点的行为抽象出来，将挑选代表点的具体行为封装到各个实验设计方法的模块中隐藏起来，为用户提供统一的接口。

这样的设计可以让实验设计方法的设计者专注于实验设计方法的设计与实现，无须考虑实验流程的管理。同时也为 CAR 开发框架的用户提供，根据使用实验设计辅助工具的用户们的实际需求，开发定制化的实验设计方法工具集的解决方案。

根据图 3.4，实验设计方法模块应提供的抽象接口有：

- (1) 判断给定的因素水平搭配是否有实现；
- (2) 从实验因素数据模型生成空的实验设计表；

由于实验因素数据模型是一种通用的数据结构，只携带有实验因素的数据结构的定义的信息，所以 CAR 开发框架的用户在实现实验设计方法模块应当根据实验设计方法的实际需求，从实验因素数据模型中解析出必要的信息构建实验因素类型，然后工具实验设计方法的算法步骤生成实验设计表。

实验分析模块应提供的抽象接口有：

- (1) 判断给定的因素水平搭配是否有实现；
- (2) 如果有实现，获取给定的因素水平搭配有实现的分析方法的标记值；
- (3) 通过给定的标记值对应的分析方法分析给定的实验数据，并返回结果；

其中，实验分析模块返回的分析结果分为四类，一类是文本信息，在可视化过程应当作为一段正文渲染；一类是原始数据，例如实验因素值-指标值、（实验因素 1 值，实验因素 2

值)-指标等，在可视化过程应当交由使用实验设计辅助工具的用户选用一定的图表来渲染；一类是 `html5` 代码块，例如将实验设计表直接拓展生成的结果分析表，在可视化过程中应当直接渲染；一类是错误信息，在可视化过程中应当出现错误对话框显示具体的错误信息。为了提供统一接口，将该四类结果均格式化成格式化字符串并携带有一个标记值告知分析结果的类型。

其类图如图 3.8 所示。

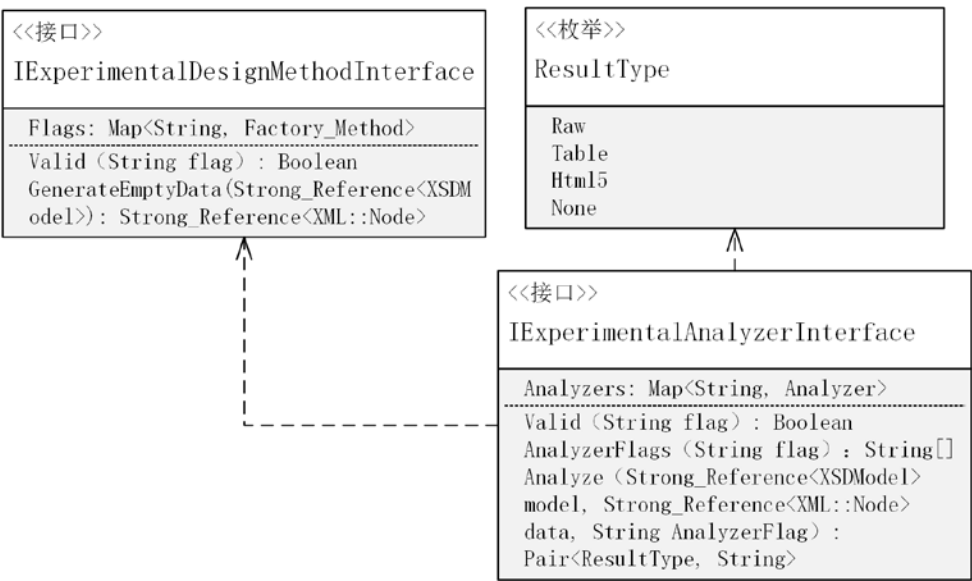


图 3.8 实验设计方法模块和实验分析模块对实验设计方法的实现约束的抽象接口类图

另外，拓展实验设计方法工具集的时候，除了要对实验设计方法模块和实验分析模块的抽象接口进行接口实现，还需要实现对应的工厂方法并增量索引表以让基于 `CAR` 开发框架开发实验设计辅助工具的用户能够通过索引表找到工厂方法获取其接口类。

3.3.6. 实验报告工具集的设计

3.3.6.1 实验报告设计工具的设计

实验报告设计工具主要为用户提供一个设计实验报告的接口，生成的实验报告设计文件存储有实验报告的数据结构的定义，用于给实验报告填写工具生成空的实验报告数据以让用户填写，并且指示实验报告生成工具搭建实验报告的 `html5` 代码框架。

实验报告的数据由若干个元素组成，每个元素拥有自己的值、类型以及包括格式表在内的一些参数值和属性值。实验报告设计的数据模型携带的信息是用于描述实验报告的数据定义的，所以实验报告设计的数据模型应当是一个元组串，元组的数据结构是（实验报告元素名，实验报告元素类型名，备注等基本信息，约束表）。该元组结构是 `XSD` 仅含文本复合类型的子集所以可以在不丢失信息的情况下转换成 `XSD` 仅含文本复合类型，因此采用 `XSD` 存

第四章 CAR 开发框架与实验设计方法工具集的实现

4.1 数据建模模块的实现

4.1.1 格式化实验因素数据模型的实现

根据 3.3.3.2 对实验建模模块的设计，格式化实验因素数据模型的参数为，一个元组表和一个 XSD 模型，其中元组的数据结构为（实验因素名，基础类型名，实验因素类型，包括备注等基础信息，约束和属性...），XSD 模型可选；返回值为 XSD 模型；要实现的功能为将元组表携带的信息解析成实验因素并存储在 XSD 模型中。

根据 3.3.3.1 对实验因素数据模型的定义，元组中的基础类型名和约束应当存储在用于派生出实验因素的 XSD 仅含文本复合类型的 XSD 简单类型中，其它则存储在 XSD 仅含文本复合类型中。所以，首先要判断基础类型名对应的类型是否可以派生成 XSD 仅含文本复合类型，如果不可以，则抛出错误；如果可以，则新建 XSD 简单类型并将元组中的约束写入。然后再从这个 XSD 简单类型派生出 XSD 仅含文本复合类型并将实验因素名、实验因素类型、基础信息和属性表写入。

根据上述思路，可以得到伪代码如下：

```
1 记原始信息的元组表为 tuples
2 if 没有传入 XSD 模型 m
3     创建 XSD 模型 m
4 for tuple in tuples
5     if 实验因素名已在 m 的
6         从 m 中获取类型名是实验因素名的仅含文本复合类型 ct
7         从 m 中获取 ct 的基础类型 st
8     else if 实验因素名在 m 的非仅含文本复合类型
9         return empty
10    if 基础类型名不是 XSD 基础类型或 m 的简单类型
11        return empty
12    if 基础类型名是 XSD 基础类型
13        从基础类型派生创建 XSD 简单类型 st
```

```
14     else if 基础类型名是 m 中的简单类型
15         从 m 中获取类型名是基础类型名的简单类型 base
16         从 base 派生创建 XSD 简单类型 st
17     for ele in tuple
18         if ele 是约束
19             向 st 写入 tuple 约束
20         end if
21     end for
22     向 m 添加/覆盖 st
23     if ct is empty
24         以实验因素名作为类型名创建仅含文本复合类型 ct
25         在 ct 的属性表上加入（实验因素类型，实验因素类型对应的值）
26     for ele in tuple
27         if ele 是属性且在属性表中
28             向 ct 的属性组中加入 ele
29         end if
30     end for
31     向 m 添加/覆盖 ct
32 end for
33 return m
```

4.1.2 解析实验因素数据模型的实现

根据 3.3.3.2 对实验建模模块的设计，解析实验因素数据模型是格式化实验因素数据模型的逆过程，参数是一个 XSD 模型，返回值是格式化实验因素数据模型参数中的元组表，所以根据 4.1.1 描述的格式化实验因素数据模型的实现思路，逆向实现即可。

伪代码如下：

- 1 记 XSD 模型是 m
- 2 创建元组表 tuples
- 3 for t in m
- 4 if t 是仅含文本复合类型且带有实验因素类型属性

```
5         从 m 中获取 t 派生自的简单类型 st
6         从 t 和 st 的数据中构建元组并加入 tuples 中
7     end if
8 end for
9 return tuples
```

4.2 数据管理模块的实现

4.2.1 格式化实验数据数据模型的实现

根据 3.3.4.2 对数据管理模块的设计, 格式化实验数据数据模型的参数为一个实验设计表, 返回值为 XML 内存模型; 要实现的功能为将实验设计表携带的信息存储在 XML 中。

根据 3.3.4.1 对实验设计表的定义, 该 XML 内存模型的基础结构应当和二维数组相当。由于并无结构上的其它约束, 所以采用最直接最简单的方法, XML 内存模型的根节点的子节点作为第一维, 根节点的孙子节点作为第二维。但是, 在实现上存在有约束, 所以每一个孙子节点的标签的集合应当与实验因素、指标因素和非指标因素名的集合等价, 即以实验因素名作为 XML 内存模型节点的标签的值, 而实验因素的值则作为该节点的内容的值。

根据上述思路, 伪代码如下:

```
1  记实验设计表为 t, XML 内存模型为 m
2  创建 Node root
3  for i in (0, t.行数 - 1)
4      创建 Node line
5      for j in (0, t.列数 - 1)
6          创建 Node cell
7          使用因素[i]的类型名从 m 中获取其类型 ct
8          将 cell 的 tag 设为 ct 的类型名
9          在 cell 的属性表上加入 ct 的属性 (实验因素类型, 实验因素类型对应的值)
10         if ct 的实验因素类型是实验因素
11             将 cell 的 content 设为 t[i][j]的值
12         end if
13         将 cell 加入到 line 的子节点中
14     end for
```



```
15      将 line 加入到 root 的子节点中
16  end for
17  将 root 加入到 m 中
18  return m
```

4.2.2 解析实验数据数据模型的实现

根据 3.3.4.2 对数据管理模块的设计，解析实验数据数据模型是格式化实验数据模型的逆过程，参数是一个 XML 内存模型，返回值是实验设计表，所以根据 4.2.1 描述的格式化实验数据数据模型的实现思路，逆向实现即可。但由于实验数据数据模型存在静态约束，静态约束要求该 XML 内存模型根节点的每一个子节点的子节点的标签的集合不仅值相等，顺序也应当相等。因此应当在解析的同时，检查该 XML 内存模型是否符合该静态约束。

伪代码如下：

```
1  记实验设计表为 t，XML 内存模型为 m
2  for i in (0, m.行数 - 1)
3      if not m[i][0:-1]上的标签一致
4          return empty
5      end if
6  end for
7  for j in (0, m.列数 - 1)
8      if not m[0:-1][j]上的标签一致
9          return empty
10     end if
11 end for
12 for j in (0, m.列数 - 1)
13     向 t 中的实验因素表加入 m[0][j]的标签值
14 end for
15 for i in (0, m.行数 - 1)
16     for j in (0, m.列数 - 1)
17         t[i][j]的值设为 m[i][j]的内容值
18     end for
```

```
19   end for
```

```
20   return t
```

4.2.3 校验实验数据数据模型的实现

根据 3.3.4.2 对数据管理模块的设计，校验实验数据数据模型的参数是一个 XSD 模型，一个 XML 内存模型，分别对应的是实验因素数据模型和实验数据数据模型；返回值为正确与否；要实现的功能是校验实验数据数据模型是否满足约束。

根据 3.3.4.1 对实验数据数据模型的定义，实验数据数据模型存在有静态约束和动态约束。静态约束的检查已经在 4.2.2 中阐述过；根据 4.2.1 描述的格式化实验数据数据模型的实现思路，动态约束要求以实验因素名作为 XML 内存模型节点的标签的值，而实验因素的值则作为该节点的内容的值。所以，首先需要解析 XSD 模型找出带有实验因素类型属性值的仅含文本复合类型，然后检查实验因素类型名是否匹配，最后检查值是否符合该实验因素类型的约束。

根据上述思路，伪代码如下：

```
1   记 XSD 模型为 m，XML 内存模型为 M
2   for i in (0, M.行数 - 1)
3       if not M[i][0:-1]上的标签一致
4           return false
5       end if
6   end for
7   for j in (0, M.列数 - 1)
8       if not M[0:-1][j]上的标签一致
9           return false
10      end if
11  end for
12  for i in (0, M.行数 - 1)
13      for j in (0, M.列数 - 1)
14          从 m 中得到 M[i][j]的标签对应的类型 t
15          if t 不存在或 t 不带有实验因素类型属性值
16              return false
```

```
17         end if
18         if M[i][j] is empty
19             if t 是实验因素或指标因素
20                 return false
21             end if
22         else if not 使用 t 校验 M[i][j]是否满足约束
23             return false
24         end if
25     end for
26 end for
27 return true
```

4.3 实验设计方法模块和实验分析模块的实现

根据 3.3.5 对实验设计方法模块和实验分析模块的设计，实验设计方法模块主要要求实现的接口的参数是实验因素数据模型对应的 XSD 模型；返回值是空的实验设计表对应的 XML 内存模型；功能是从实验因素数据模型生成空的实验设计表。其中，实验因素的解析交由实验设计方法实现。

同样根据 3.3.5 对实验设计方法模块和实验分析模块的设计，实验分析模块主要要求实现的接口的参数是实验因素数据模型对应的 XSD 模型和实验数据数据模型对应的 XML 内存模型；返回值是一个二元组，其数据结构为（结果类型，分析结果的格式化字符串）；功能是通过给定的标记值对应的分析方法分析给定的实验数据，并返回结果。其中实验因素数据模型是用于通过数据管理模块校验实验数据数据模型的，如果分析结果无须读取实验因素的类型信息，则与具体的实验分析算法并无直接关联。

除了这两个关键接口之外，还应当在实验设计方法模块的接口处的索引表添加一个工厂方法，让实验设计辅助工具能从 CAR 开发框架提供的接口中获取该实验设计方法。为了在实验分析模块提供多种分析方法，同样应当在实验分析模块的接口处的索引表添加所实现的分析方法对应的标记值，让实验设计辅助工具在调用该实验设计方法的实验分析模块时获取该分析方法。

接下来将分别以正交设计方法、析因设计方法和均匀设计方法展示基于 CAR 开发框架实现实验设计方法的具体步骤。

4.3.1 基于 CAR 开发框架实现正交设计方法

4.3.3.1 正交设计方法

正交实验以概率论、数理统计和实践经验为基础，利用标准化正交表安排试验方案，并对结果进行计算分析，最终迅速找到优化方案，是一种高效处理多因素优化问题的科学计算方法。^[7]

接下来将以 8 次实验 7 因素 2 水平的正交设计方法为例展现基于 CAR 开发框架实现析因设计方法对实验设计方法模块和实验分析模块进行接口实现的过程。

4.3.3.2 对实验设计方法模块进行接口实现

采用 8 次实验 7 因素 2 水平的正交设计方法，则传入接口的 XSD 模型应当有 7 个实验因素，每个实验因素存在 2 个枚举值，且还有 1 个指标因素，在检查完毕后，根据正交表生成待填的实验设计表返回。

由于与主题无关，在此不赘述正交表的构建方法^[8]，直接给出 8 次实验 7 因素 2 水平正交设计方法对应的正交表 $L_8(2^7)$ ，图表 4.1 所示。

表 4.1 正交表 $L_8(2^7)$

实验号	列号							指标
	1	2	3	4	5	6	7	
1	1	1	1	1	1	1	1	X1
2	1	1	1	2	2	2	2	X2
3	1	2	2	1	1	2	2	X3
4	1	2	2	2	2	1	1	X4
5	2	1	2	1	2	1	2	X5
6	2	1	2	2	1	2	1	X6
7	2	2	1	1	2	2	1	X7
8	2	2	1	2	1	1	2	X8

实验号表示用户需要进行多少次的实验操作，列号表示因素，表格内的值表示该因素在该次实验中选用的水平值。由于正交表与实验设计表的数据结构等价，因此，如果没有非指标因素，可以直接将正交表作为实验设计表返回。

伪代码如下：

```
1 if not 数据模型与当前实验设计方法匹配
```

```
2      return empty
3  end if
4  从数据模型构造实验因素模型表 m
5  根据正交表构造实验设计表 t
6  for i in (0, 实验次数 - 1):
7      for j in (0, 因素数 - 1):
8          t[i][j] = m[j]的枚举值表[正交表[i][j] - 1]
9      end for
10 end for
11 将实验设计表转换成 XML，记为 root
12 return root
```

4.3.3.3 对实验分析模块进行接口实现

在不添加其它分析值的前提下，使用极差法分析 8 次实验 7 因素 2 水平正交设计方法的实验结果的格式应当如表 4.2 表示。在进行结果可视化的时候，既可以直接将该表显示，也可以提供一些标记值让用户选择，只获取部分数据，例如通过某个特殊的标记值获取元组表（实验号，指标值）以生成实验号-指标值的折线图、实验号-指标值的面积图等。下面的伪代码将以直接返回表格为例。

表 4.2 极差法分析 7 因素 2 水平正交设计方法的实验结果样式

实验号	列号							指标
	1	2	3	4	5	6	7	
1	1	1	1	1	1	1	1	X1
2	1	1	1	2	2	2	2	X2
3	1	2	2	1	1	2	2	X3
4	1	2	2	2	2	1	1	X4
5	2	1	2	1	2	1	2	X5
6	2	1	2	2	1	2	1	X6
7	2	2	1	1	2	2	1	X7
8	2	2	1	2	1	1	2	X8

I_j	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	T
II_j	II_1	II_2	II_3	II_4	II_5	II_6	II_7	
R_j	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	
\bar{I}_j	\bar{I}_1	\bar{I}_2	\bar{I}_3	\bar{I}_4	\bar{I}_5	\bar{I}_6	\bar{I}_7	\bar{T}
\bar{II}_j	\bar{II}_1	\bar{II}_2	\bar{II}_3	\bar{II}_4	\bar{II}_5	\bar{II}_6	\bar{II}_7	
\bar{R}_j	\bar{R}_1	\bar{R}_2	\bar{R}_3	\bar{R}_4	\bar{R}_5	\bar{R}_6	\bar{R}_7	

显而易见的，使用极差法分析 8 次实验 7 因素 2 水平正交设计方法的实验结果是正交表的一个拓展表，适合的存储方式应为表格或者 Html5，为了方便实现，尽量使用 Html5。

伪代码如下：

- 1 if not 数据通过校验
- 2 return (None, 错误信息)
- 3 end if
- 4 将数据重构成与正交表相同格式的表 table
- 5 计算 I_j 、 II_j 、 R_j 、 \bar{I}_j 、 \bar{II}_j 、 \bar{R}_j 、 T 、 \bar{T} 放入 table 对应的位置
- 6 将 table 转写成 html5 字符串 ret
- 7 return (Html5, ret)

根据增量更新原则以及实验分析模块接口的设计，如果要增加新的分析方法，只需要提供符合接口定义的分析函数，并在索引表上添加对应的 flag 值即可；如果要对某个已经存在的分析方法进行派生或者返回不同类型的结果的话，则同样也应当视作一个新的分析方法来处理。

4.3.2 基于 CAR 开发框架实现析因设计方法

4.3.2.1 析因设计方法

析因设计方法时一种多因素（银子）、多水平、单效应的交叉分组实验设计，又称为完全交叉分组实验设计。每一个完整的析因设计方法中，都对这些银子不同水平的所有可能的组合进行全面研究。^[9]

接下来将以 2 因素 3 水平 4 次重复的析因设计方法为例展现基于 CAR 开发框架实现析因设计方法对实验设计方法模块和实验分析模块进行接口实现的过程。

4.3.2.2 对实验设计方法模块进行接口实现

采用 2 因素 3 水平 4 次重复的析因设计方法，则传入接口的 XSD 模型应当有 2 个实验因素，每个实验因素存在 3 个枚举值，且还有 1 个指标因素，在检查完毕后，根据析因设计方法表生成待填的实验设计表返回。

由于与主题无关，在此不赘述析因设计方法表的构建方法^[9]，直接给出用例 2 因素 3 水平 4 次重复无交互作用析因设计方法对应的析因设计方法表，图表 4.3 所示。

表 4.3 用 2 因素 3 水平 4 次重复的析因设计方法表

因子 A	因子 B			指标
	1	2	3	
1	Y11[4]	Y12[4]	Y13[4]	Y1
2	Y21[4]	Y22[4]	Y23[4]	Y2
3	Y31[4]	Y32[4]	Y33[4]	Y3

行号表示因子 A 的水平值，列号表示因子 B 的水平值，单元格内的 $Y_{ij}[4]$ 表示该水平值搭配需要做 4 次重复实验。为了减少误差，将析因设计方法表转换成实验设计表时，需要做的 $3 \times 3 \times 4 = 36$ 次实验应当均匀随机分布在实验序列中。

伪代码如下：

```
1 if not 数据模型与当前实验设计方法匹配
2     return empty
3 end if
4 从数据模型构造实验因素模型表 m
5 根据析因设计方法表构造实验设计表 t
6 for i in (0, 因子 A 水平数 - 1)
7     for j in (0, 因子 B 水平数 - 1)
8         k = i * j * 4
9         for p in (0, 重复次数 - 1)
10             t[k + p][0] = m[0][i]
11             t[k + p][1] = m[1][j]
12         end for
13     end for
```

```

14 end for
15 使用均匀分布的随机数引擎将 t 的行乱序
16 将实验设计表转换成 XML，记为 root
17 return root
    
```

4.3.2.3 对实验分析模块进行接口实现

在不添加其它分析值的前提下，使用方差法分析 2 因素 3 水平 4 次重复无交互作用析因设计方法的实验结果的格式应当如表 4.4 表示。在进行结果可视化的时候，既可以直接将该表显示，也可以提供一些标记值让用户选择，只获取部分数据，例如通过某个特殊的标记值获取元组表（因素 1 值，因素 2 值，指标值）以生成因素 1-因素 2 热力图、因素 1-因素 2 等高线图或因素 1-因素 2 三维曲面图等。下面的伪代码将以直接返回表格为例。

表 4.4 方差法分析 2 因素 3 水平 4 次重复分析析因设计方法的实验结果样式

因子 A	因子 B									X
	1			2			3			
1	Y111	Y112	Y11	Y121	Y122	Y12	Y131	Y132	Y13	X1
	Y113	Y114		Y123	Y124		Y133	Y134		
2	Y211	Y212	Y21	Y221	Y222	Y22	Y231	Y232	Y23	X2
	Y213	Y214		Y223	Y224		Y233	Y234		
3	Y311	Y312	Y31	Y321	Y322	Y32	Y331	Y332	Y33	X3
	Y313	Y314		Y323	Y324		Y333	Y334		
Z	Z1			Z2			Z3			Y

偏差来源	偏差平方和	自由度	方差	F 值	F 临界值	显著性
因子 A	U ₁	f ₁	$\frac{1}{s_2}$	F _A	F _{α,(f1,fe)}	
因子 B	U ₂	f ₂	$\frac{2}{s_2}$	F _B	F _{α,(f2,fe)}	
随机误差	Q _e	f _e	$\frac{2}{s_e}$			
综合	Q	f	s ²			

显而易见的，使用方差法 2 因素 3 水平 4 次重复无交互作用析因设计方法的实验结果是其析因设计方法表的一个拓展表，适合的存储方式应为表格或者 Html5，为了方便实现，尽量使用 Html5。

伪代码如下：

- 1 if not 数据通过校验
- 2 return (None, 错误信息)
- 3 end if
- 4 将数据重构成与析因设计方法表相同格式的表 table
- 5 计算 Y_{11} 、 Y_{12} 、 Y_{13} 、 Y_{21} 、 Y_{22} 、 Y_{23} 、 Y_{31} 、 Y_{32} 、 Y_{33} 、 X_1 、 X_2 、 X_3 、 U_1 、 U_2 、 Q_e 、 Q 、 f_1 、 f_2 、 f 、 s_2^1 、 s_2^2 、 s_e^2 、 s^2 、 F_A 、 F_B 、 $F_{a,(f1,fe)}$ 、 $F_{a,(f2,fe)}$ 放入 table 对应的位置
- 6 将 table 转写成 html5 字符串 ret
- 7 return (Html5, ret)

4.3.3 基于 CAR 开发框架实现均匀设计方法

4.3.3.1 均匀设计方法

均匀设计方法是只考虑实验点在实验范围内均匀散布的一种实验设计方法。均匀设计方法和正交设计相似，也是通过一套精心设计的表来进行实验设计。不同的是，每个均匀设计方法表还附有一个使用表，它根据实验因素数量指示我们如何从设计表中选用适当的列。^[10]

接下来将以 6 次实验 6 个水平 4 列的均匀设计方法为例展现基于 CAR 开发框架实现均匀设计方法对实验设计方法模块和实验分析模块进行接口实现的过程。

4.3.3.2 对实验设计方法模块进行接口实现

采用 6 次实验 6 个水平 4 列的正交设计方法，则传入接口的 XSD 模型应当有 2-4 个实验因素，每个实验因素应当有 6 个枚举值，在检查完毕后，根据均匀设计方法表和其使用表生成待填的实验设计表返回。

由于与主题无关，在此不赘述均匀设计方法表和其使用表的构建方法^[11]，直接给出用例 6 次实验 6 个水平 4 列均匀设计方法对应的均匀设计方法表 $U_6^*(6^4)$ 和其使用表，如表 4.5 和 4.6 所示。

表 4.5 均匀设计方法表 $U_6^*(6^4)$

实验号	列			
	1	2	3	4
1	1	2	3	6
2	2	4	6	5

3	3	6	2	4
4	4	1	5	3
5	5	3	1	2
6	6	5	4	1

表 4.6 均匀设计方法表 $U_6(6^4)$ 的使用表

实验因素数	列号				偏差
2	1	3			0.1875
3	1	2	3		0.2656
4	1	2	3	4	0.2990

在此取 2 个实验因素为例，根据使用表代入均匀设计方法表后，应当增加一列指标值，如图 4.7 所示。

表 4.7 在 2 实验因素时，均匀设计方法表 $U_6(6^4)$ 生成的实验设计表

实验号	实验因素		指标
	因素 1（列 1）	因素 2（列 3）	
1	1	3	X1
2	2	6	X2
3	3	2	X3
4	4	5	X4
5	5	1	X5
6	6	4	X6

伪代码如下：

```

1 if not 数据模型与当前实验设计方法匹配
2     return empty
3 end if
4 从数据模型构造实验因素模型表 m
5 列号表 c = 使用表[m.实验因素数]
6 for i in (0, 实验次数 - 1):
7     for j in (0, 因素数 - 1):
    
```

```

8      t[i][j] = m[j]的枚举值表[均匀设计方法表[i][c[j]]]
9      end for
10     t[i][因素数] = empty
11 end for
12 将实验设计表转换成 XML，记为 root
13 return root
    
```

4.3.3.3 对实验分析模块进行接口实现

在不添加其它分析值的前提下，使用方差法分析 2 个实验因素 6 次实验 6 个水平 4 列均匀设计方法的实验结果的格式应当如表 4.8 表示。在进行结果可视化的时候，既可以直接将该表显示，也可以提供一些标记值让用户选择，只获取部分数据，例如通过某个特殊的标记值获取元组表（因素 1 值，指标值）以生成因素 1-指标值点分布图等。下面的伪代码将以直接返回表格为例。

表 4.8 在 2 实验因素时，方差法分析 3 水平 4 次重复分析析因设计方法的实验结果样式

偏差：d

实验号	实验因素		指标
	因素 1（列 1）	因素 2（列 3）	
1	1	3	X1
2	2	6	X2
3	3	2	X3
4	4	5	X4
5	5	1	X5
6	6	4	X6
R _j	R ₁	R ₂	T
\bar{R}_j	\bar{R}_1	\bar{R}_2	\bar{T}

方差来源	平方和	自由度	均方	F	显著性
回归	S _回	m	S _回 /m	F _回	
残差	S _残	n-m-1	S _残 /(n-m-1)		
总和	L _{YY}	n-1			

显而易见的，使用方差法分析 3 水平 4 次重复分析析因设计方法的实验结果是其实验设

计表的一个拓展表，适合的存储方式应为表格或者 Html5，为了方便实现，尽量使用 Html5。

伪代码如下：

- 1 if not 数据通过校验
- 2 return (None, 错误信息)
- 3 end if
- 4 将数据重构成与实验设计表相同格式的表 table
- 5 获取使用表[实验因素数]的偏差值，放图 table 对应的 d 的位置
- 6 计算 R_j 、 \bar{R}_j 、 T 、 \bar{T} 、 $S_{回}$ 、 $S_{残}$ 、 m 、 n 、 $F_{回}$ 、 L_{YY} 放入 table 对应的位置
- 7 将 table 转写成 html5 字符串 ret
- 8 return (Html5, ret)

4.4 本章小结

本章阐述了使用 XSD 实现的数据建模模块如何在第三章阐述的解决方案中实现将实验流程的各个部分解耦合以及 CAR 开发框架的具体实现。然后以正交设计方法、析因设计方法和均匀设计方法为例，阐述了基于该解决方案根据需求实现实验设计方法的具体步骤。

第五章 可视化实验设计辅助工具的实现

5.1. 图形界面的总体设计

5.1.1. 站点地图

由 3.1 推论，需要为用户提供读写实验项目索引文件、读写实验流程索引文件、读写实验操作索引文件、数据建模、填写实验设计表、查看实验分析结果、实验报告设计以及实验报告填写等操作视图。将这些操作视图和对应的文件关联起来，根据 3.2.2 项目文件目录结构，可以得到站点地图，如图 5.1 所示。

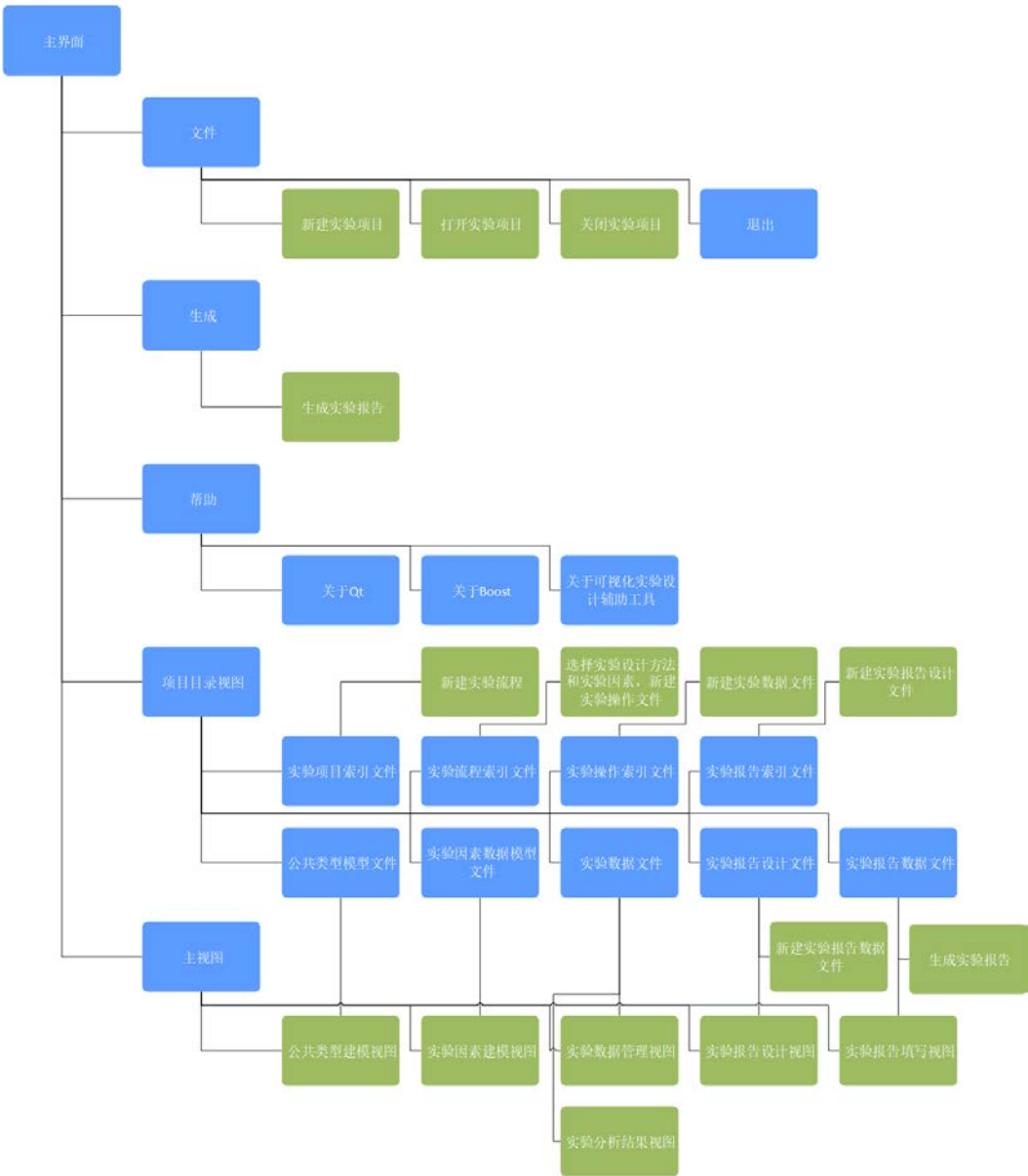


图 5.1 站点地图

5.1.2. 图形界面结构的设计

图形界面的设计将采用与 CAR 开发框架同样的设计偏向，以易修改性为指标，尽可能降低令各个部分之间的耦合度，并提供为用户订制的解决方案。

根据图 5.1，为了令各个页面组件模块化，可以将主界面切割为三个部分，一个是菜单部分，包括文件、生成和帮助，提供基础功能；一个是项目目录视图，用于渲染项目文件目录；一个是主视图，用于渲染各个工具的图形接口。各个组件之间通过实验流程管理器来管控，实现不同组件之间的通信。具体的管控流程在 5.7 阐述。

若主界面由两个视图组成，一个是目录视图，一个是主视图，则根据大多数用户的习惯，一般而言采用左右布局。所以，主界面的设计图如图 5.2 所示。



图 5.2 主界面设计图

5.2. 实验项目文件管理器的设计与实现

5.2.1. 实验项目类

在新建或打开实验项目文件后，实验项目文件管理器将实验项目文件索引的所有文件构成如图 3.3 的结构，但不会解析被索引的 XSD 和 XML。为方便管理这些文件，分别设计实验项目、实验流程类、实验操作类和实验报告类，其逻辑关系和文件目录的树状结构相同。其数据段除了各自的索引关系外，还有 3.2.2 描述的校验机制所携带的数据。

类图如图 5.3 所示。

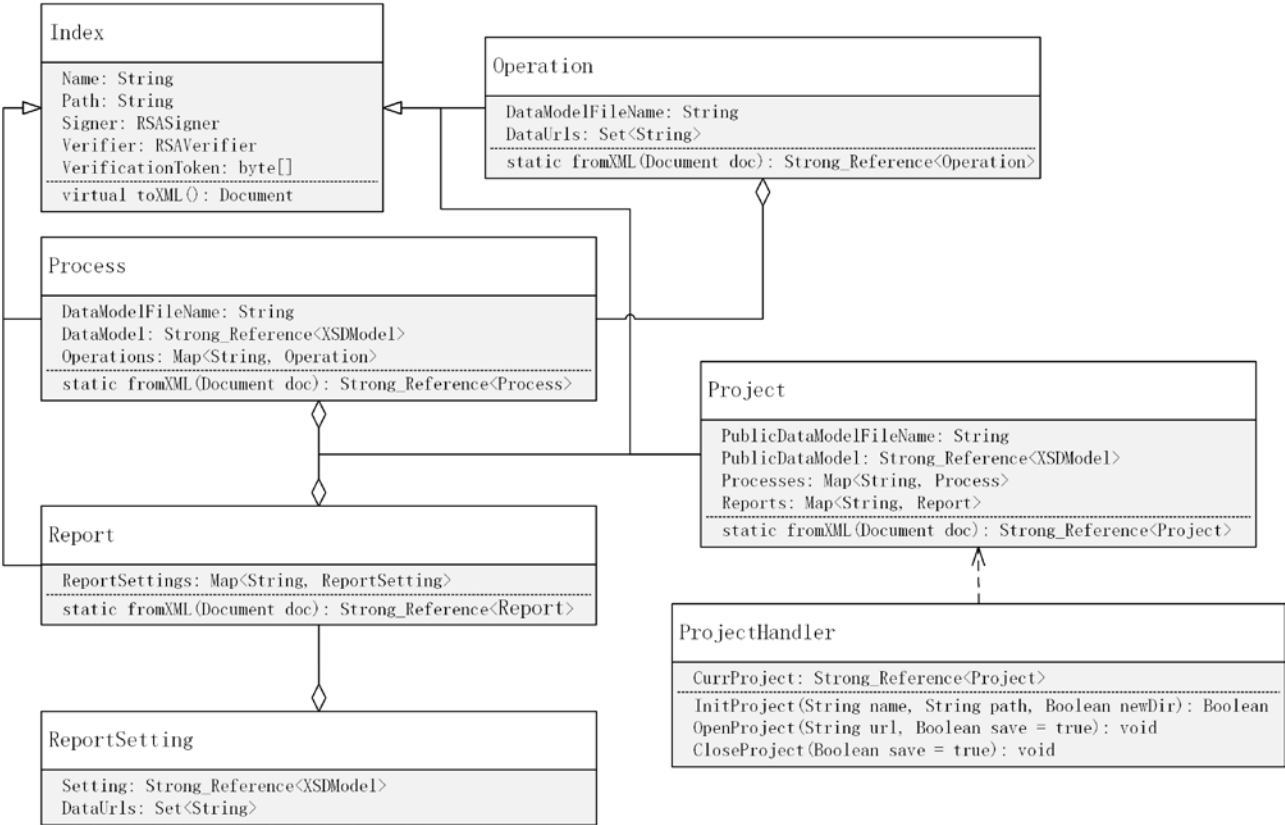


图 5.3 实验项目类图

5.2.2. 实验项目文件目录

根据 3.2.2 描述的实验项目文件结构，文件目录结构呈树状。所以使用树状结构进行可视化可以很直观地显示项目文件目录，并且能很清楚地从视图中获知各个索引文件和各个数据文件之间的关系。视图设计图如图 5.4 所示。



图 5.4 项目目录视图设计图

5.3. 数据建模工具及其图形化接口的设计与实现

5.3.1. 公共类型建模

为方便用户进行实验因素建模，公共类型建模为用户提供定义一些 XSD 简单类型的图形化接口，以在实验因素建模中复用，达到简化操作的目的。例如，创建一个不大于 200 的正整数类型年龄，使用 XSD 基础类型 number 中的 xs:negativeInteger，并添加约束闭区间最大值 200 即可，或使用 XSD 基础类型 number 中的 xs:integer，并添加约束闭区间最小值 0 闭区间最大值 200 亦可，或者其它的表示方法。然后，用户就可以在实验因素建模的时候不用重复创建年龄类型，直接从年龄类型派生即可获得一个不大于 200 的正整数类型。

根据图 2.3，构造 XSD 简单类型必要的字段有类型名、基础类型名和类型类别，备注和约束表可选，约束表根据基础类型的不同而有不同的字段。为方便用户快速准确地扫描查找，将上述字段以表单的形式进行可视化时，约束表单独组件化作为表单的一个组件并与其它字段分为两组。视图设计图如图 5.5 所示。

图 5.5 公共类型建模视图设计图

5.3.2. 实验因素建模

根据 3.3.3.2 对数据建模工具的设计，实验因素建模的视图主要提供用户创建实验因素类型的图形化接口，然后提供给实验设计方法模块生成实验设计表。实验因素应有的字段与

3.3.3.2 描述的元组的数据结构相对应，应有实验因素名、基础类型名、实验因素类型、包括备注等基础信息，约束表和属性表。其中，由于在实际建模时，需要从 XSD 简单类型开始，所以实验因素名和基础类型名字段应当修改成和 5.3.1 中 XSD 简单类型定义所需要的字段。其中，类型名即可作为实验因素名。为方便用户快速准确地扫描查找，将上述字段以表单的形式进行可视化时，将属性表和约束表都单独组件化作为表单的一个组件并与其它字段分为三组。

如果用户想使用的实验设计方法存在特殊设计，需要在实验因素上面附带一些信息，则应当约束有实验设计方法在实现时添加在属性表里，用户就需要手动添加属性，并输入其值。视图设计图如图 5.6 所示。

类型名:

输入文本

基础类型名:

输入文本

类型类别:

输入文本

是否是实验因素:

☒

实验因素类型:

输入文本

备注:

输入文本

根据类型类别生成约束表填写

属性1: 属性名:

输入文本

属性值:

输入文本

+ 添加属性

+ 添加

保存

重置

图 5.6 实验因素建模视图设计图

5.4. 实验数据管理工具及其图形化接口的设计与实现

根据 3.3.4.2 对实验数据管理工具的设计，实验数据管理工具主要是从数据管理模块获取实验设计表并提供接口让用户填写。由于目标用户是实验工作人员，所以应当十分熟悉实验

设计表，因此直接将实验设计表按照原本的表格格式渲染出来让用户读写。

视图设计图如图 5.7 所示。

实验号	实验因素			指标因素			非指标因素		
	1	2	1	2	1	2
1									
⋮									
n									

保存重置

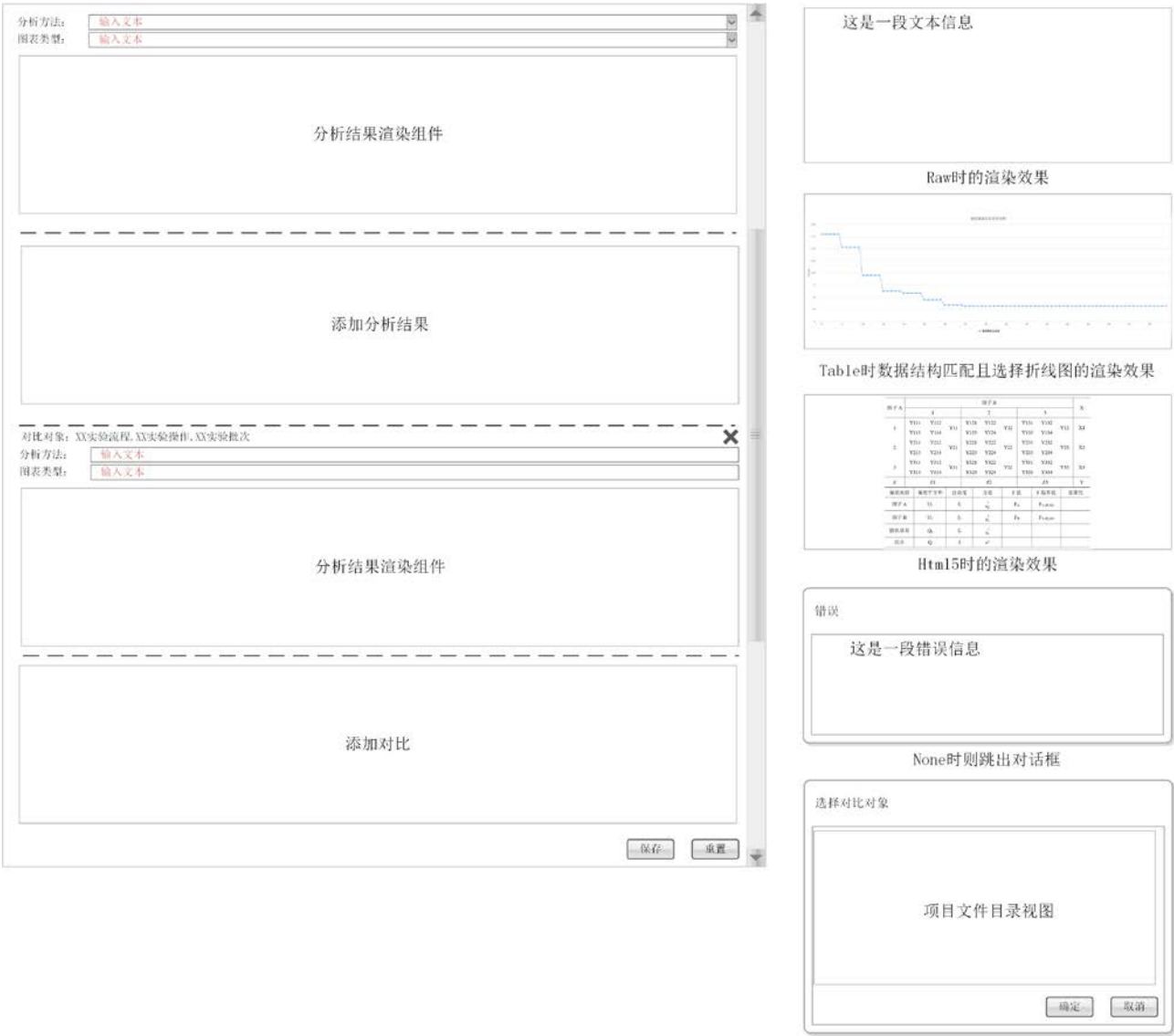
图 5.7 实验设计表填写视图设计图

5.5. 实验分析工具及其图形化接口的设计与实现

根据 3.3.3.5 对实验分析工具的设计，实验分析工具的图形化接口应当提供用户选择实验分析模块提供的分析方法索引表，若该分析方法返回的结果要用图表渲染，则还应当根据返回的结果，解析出可用的图表类型，然后提供用户选择。为提供能够根据用户的实际需求，订制化开发实验分析结果可视化样式的结构，分析结果的渲染应当单独组件化。

其中，分析结果组件向图表渲染功能是依赖于用户所选的图表类型对应的索引值来选择渲染方法。因此，如果用户希望能使用不同的渲染组件渲染同样的图表类型，需要提供两个索引值，分别索引到使用不同渲染组件的该图标类型的渲染方法；如果用户希望更换渲染组件，则只需要更换索引表中的对应方法即可。

视图设计图如图 5.8 所示，分析结果渲染组件的渲染流程请查看 5.7.4 节。



5.6. 实验报告工具集及其图形化接口的设计与实现

5.6.1. 实验报告设计工具

根据 3.3.6.1 对实验报告设计工具的设计，实验报告设计工具的图形化接口应提供用户创建实验报告元素类型和利用实验报告元素类型编排实验报告元素内容序列的图形化接口，然后提供给实验报告填写工具生成实验报告数据数据模型。实验报告元素类型应有的字段与 3.3.6.1 描述的元组的数据结构相对应，应有实验报告元素名，实验报告元素类型名，备注等基本信息，约束表。其中，由于在实际建模时，需要从 XSD 简单类型开始，所以实验因素名和基础类型名字段应当修改成和 5.3.1 中 XSD 简单类型定义所需要的字段。其中，类型名即可作为实验报告元素名。为方便用户快速准确地扫描查找，将上述字段以表单的形式进行可

视化时，将约束表都单独组件化作为表单的一个组件并与其它字段分为两组。

视图设计图如图 5.9 所示。

实验报告元素类型定义 >> 实验报告设计

元素类型名:
基础类型名:
备注:

输入文本

输入文本

输入文本

根据基础类型生成约束表填写

+ 添加

保存

重置

实验报告元素类型定义 >> 实验报告设计

实验报告元素名:
实验报告元素类型:
备注:

输入文本

输入文本

输入文本

根据实验报告元素类型生成约束表填写

+ 添加

保存

重置

图 5.9 实验报告设计视图设计图

5.6.2. 实验报告填写工具

根据 3.3.6.2 对实验报告填写工具的设计，实验报告填写工具主要是从实验报告设计数据模型解析出实验报告数据数据模型，并生成表单让用户填写。实验报告数据数据模型有两类数据结构，一类是值类型，其值即为其显示值；一类是图表类型，包括实验设计表和实验分析结果，需要从项目文件管理器中选取图表源，如果是试验分析结果，还需要按照实验分析结果一样选择分析方法、图表类型等作为值的参数值，其值为图表标题，显示值是通过渲染组件读取参数值渲染。为方便用户快速准确地扫描查找，将上述字段以表单的形式进行可视化时，将约束表都单独组件化作为表单的一个组件并与其它字段分为两组。为提供能够根据用户的实际需求，订制化开发实验分析结果可视化样式的结构，分析结果的渲染应当单独组件化。

视图设计图如图 5.10 所示。



图 5.10 实验报告填写视图设计图

5.6.3. 实验报告生成工具

实验报告工具有两个接口，一个是在实验报告填写视图上直接选择导出，另外一个是在菜单栏上选择生成实验报告。后者需要多一个对话框用于选择实验报告设计和实验报告数据以获取数据。具体的实现均是获取数据后，根据实验报告设计搭建 html5 代码结构，然后使用实验报告数据填充数据，最后导出 html5 页面；如果用户需求的是 pdf，则使用 QPainter 类将 html5 页面打印到 pdf 文件中。

5.7. 实验项目流程管理器的实现

5.7.1. 图形界面主视图的管控

根据 5.1.2 的图形界面结构的设计，由于在模块化的过程中，各模块之间的耦合级别降低为数据耦合。所以各个流程之间并不需要顺序执行，可以碎片化的随机执行，只需要数据文件存在且匹配即可。当用户在项目目录选中某个文件时，即可根据文件类型判断出当前用户希望执行的流程，这个时候主视图切换至当前用户希望执行的流程匹配的 5.3 – 5.6 所描述的工具的视图，并解析、加载所需要的数据，然后渲染视图。

图形界面主视图的管控泳道图如图 5.11 所示。

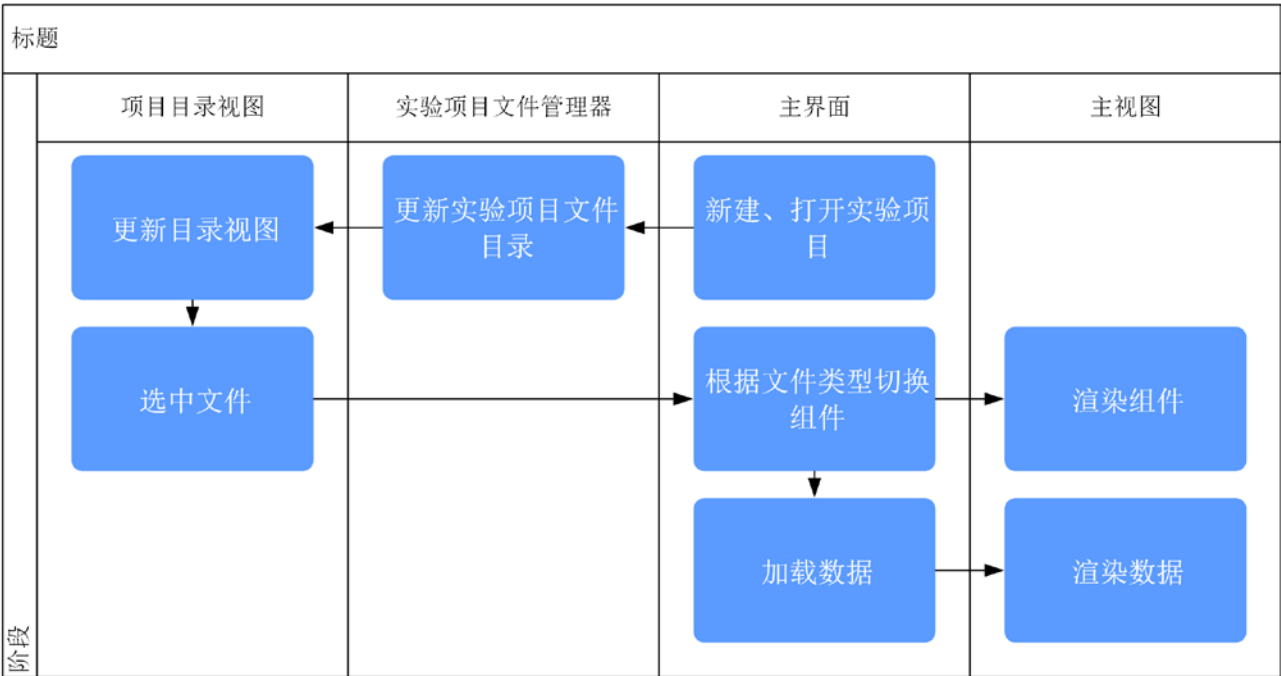


图 5.11 图形界面主视图的管控泳道图

5.7.2. 实验因素数据建模流程的管控

根据 3.3.1 的模块协作设计以及 3.3.3 对数据建模模块与数据建模工具的设计，主界面在切换到数据建模工具视图时，应加载对应的实验因素数据模型文件，并通过 XSD 解析器、数据建模模块的解析实验因素数据模型到数据建模工具提供用户读写，然后通过数据建模模块的格式化实验因素数据模型、XSD 格式化器保存到实验因素数据模型文件中。

综合 5.3.1 所阐述的公共类型建模，实验因素数据建模流程的管控泳道图如图 5.12 所示。

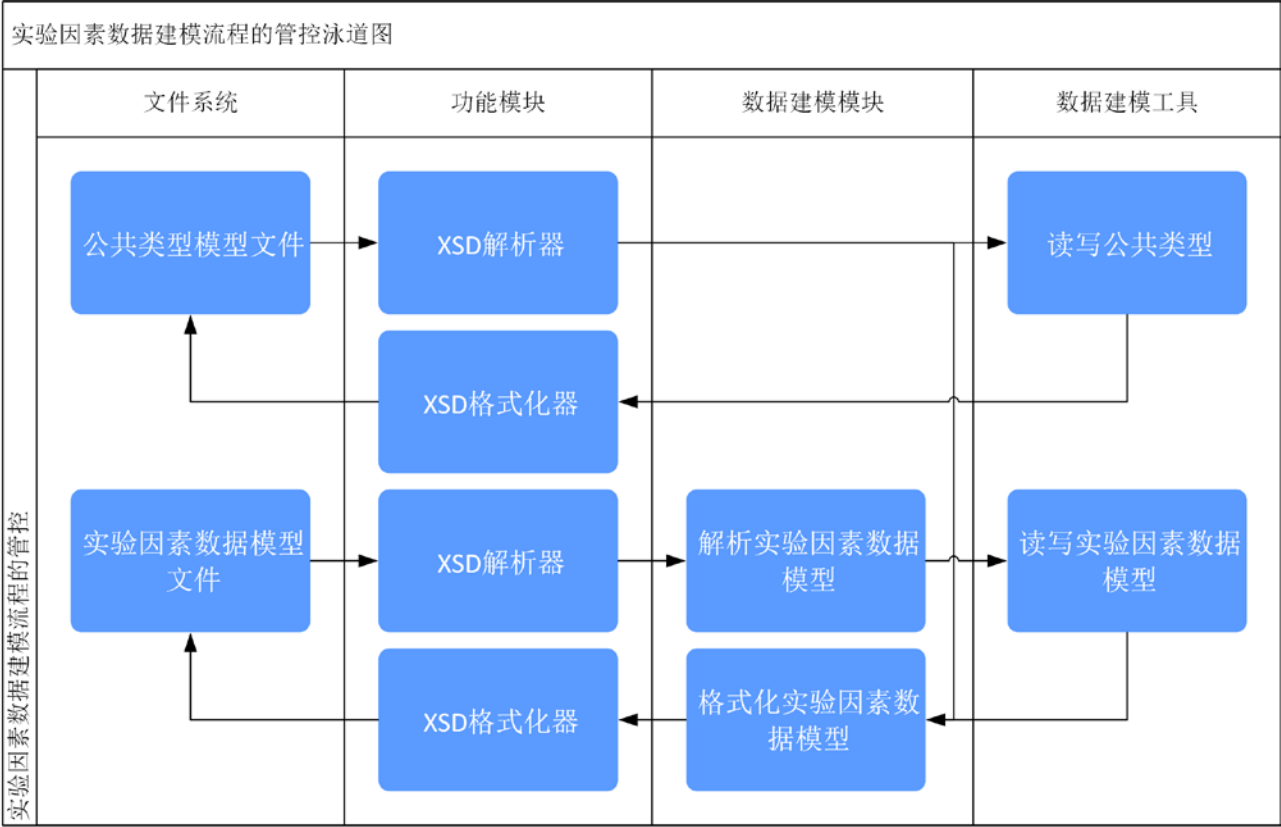


图 5.12 实验因素数据建模流程的管控泳道图

5.7.3. 生成、填写实验设计方案表流程的管控

根据 3.3.1 的模块协作设计以及 3.3.4 对数据管理模块与实验数据管理工具的设计，主界面在切换到实验数据管理工具视图时，若未新建实验设计方案表，则加载对应的实验因素数据模型文件通过 XSD 解析器、实验设计方法模块的生成实验设计表到实验数据管理工具中；若已经存在有对应的实验数据数据模型文件，则通过 XML 解析器、数据管理模块的解析实验数据数据模型到实验数据管理工具提供给用户读写，然后通过数据管理模块的格式化实验数据数据模型、XML 格式化器保存到实验数据数据模型文件中。

生成、填写实验设计方案表流程的管控泳道图如图 5.13 所示。

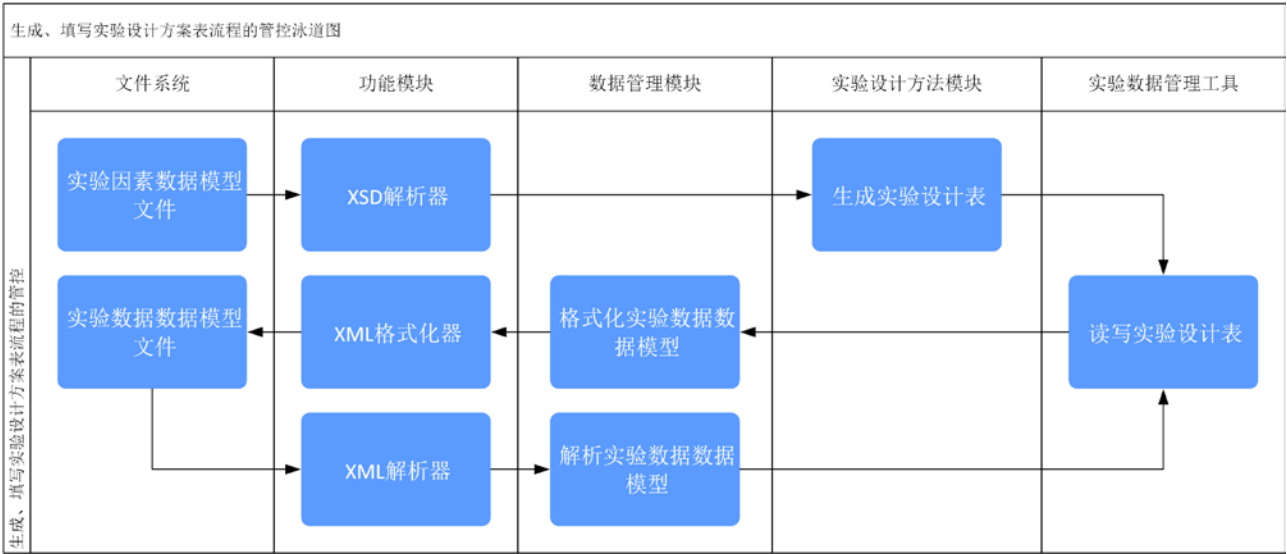


图 5.13 生成、填写实验设计方案表流程的管控泳道图

5.7.4. 生成实验分析结果流程的管控

根据 3.3.1 的模块协作设计，生成实验分析结果的流程为：从实验分析工具获取必要的参数，包括实验数据源、分析方法索引值，其中实验数据源由实验项目文件管理器提供，分析方法则需要先从实验分析模块获取并让用户选择；然后实验分析工具从实验分析模块获得返还的分析结果。

根据 5.5 的阐述，如果分析结果的类型是 Raw 或者 Html5，则直接使用分析结果渲染组件渲染；如果是 None，则弹出错误对话框；如果是 Table，则需要先从分析分析结果的数据，从分析结果渲染组件中获取该数据可用的图表类型并让用户选择，然后再找到用户选择的图表类型对应的渲染方法进行渲染。

伪代码如下：

- 1 记分析结果为 r
- 2 if 分析结果的类型是 Raw 或者 Html5
- 3 直接渲染分析结果
- 4 else if 分析结果的类型是 None
- 5 弹出错误对话框，显示错误信息
- 6 else if 分析结果的类型是 Table
- 7 记可用的图表类型表为 t
- 8 for 图表类型 in 图表类型表
- 9 if 该图表类型可以渲染 r


```
10      将该图表类型的索引值加入 t
11      end if
12  end for
13      等待用户选择图表类型，记选中的图表类型的索引值为 tv
14      从图表类型的索引表中找到 tv 对应的渲染方法 f
15      f (r)
16  return
```

根据上述思路，生成实验分析结果流程的管控泳道图如图 5.14 所示。

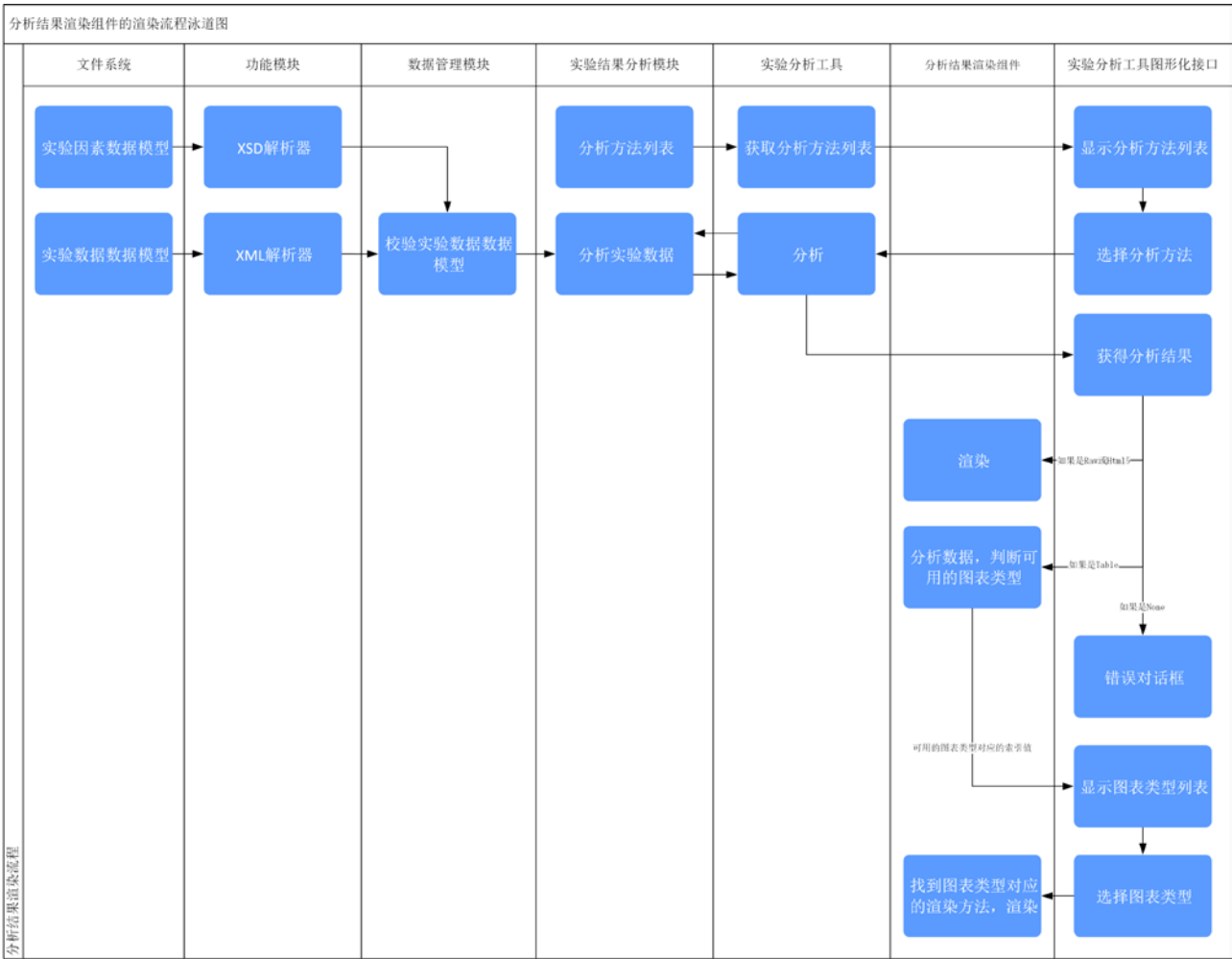


图 5.14 生成实验分析结果流程的管控泳道图

5.7.5. 设计、生成实验报告流程的管控

根据 3.3.1 的模块协作设计以及 3.3.6 对实验报告工具集的设计，设计、生成实验报告流程主要分为三个子流程：实验报告设计流程、实验报告填写流程和实验报告生成流程。

主界面在切换到实验报告设计视图时，开始执行实验报告设计流程：加载对应的实验报

告设计数据模型文件，通过 XSD 解析器到实验报告设计工具提供给用户读写，然后通过 XSD 格式化器保存到对应的实验报告设计数据模型文件中。

主界面在切换到实验报告填写视图时，开始执行实验报告填写流程：加载对应的数据报告设计数据模型文件，通过 XSD 解析器到实验报告填写工具中生成实验报告数据填写表单，然后加载对应的实验报告数据数据模型文件，通过 XML 解析器到实验报告填写工具填充表单以供用户读写该表单，然后通过 XML 格式化器保存到对应的实验报告数据数据模型文件中。其中，在用户读写表单中的实验报告数据的参数时，如果实验报告数据是值类型，则直接填写；如果是实验设计表，则要求用户选择数据源，然后渲染到表单上供用户预览；如果是实验分析结果，则要求用户先选择数据源，然后执行同 5.7.4 中描述的生成实验分析结果的流程，把图表渲染到表单上供用户预览。

用户在点击实验报告填写视图上或菜单栏上的实验报告生成的图形接口时，开始执行实验报告生成流程：加载对应的数据报告数据数据模型文件，通过 XML 解析器到实验报告生成工具以生成实验报告 html5 代码块的结构，然后和实验报告填写流程中渲染实验报告数据的显示值的流程一样，完成渲染的流程，导出实验设计报告。

设计、生成实验报告流程的管控泳道图如图 5.15 所示。

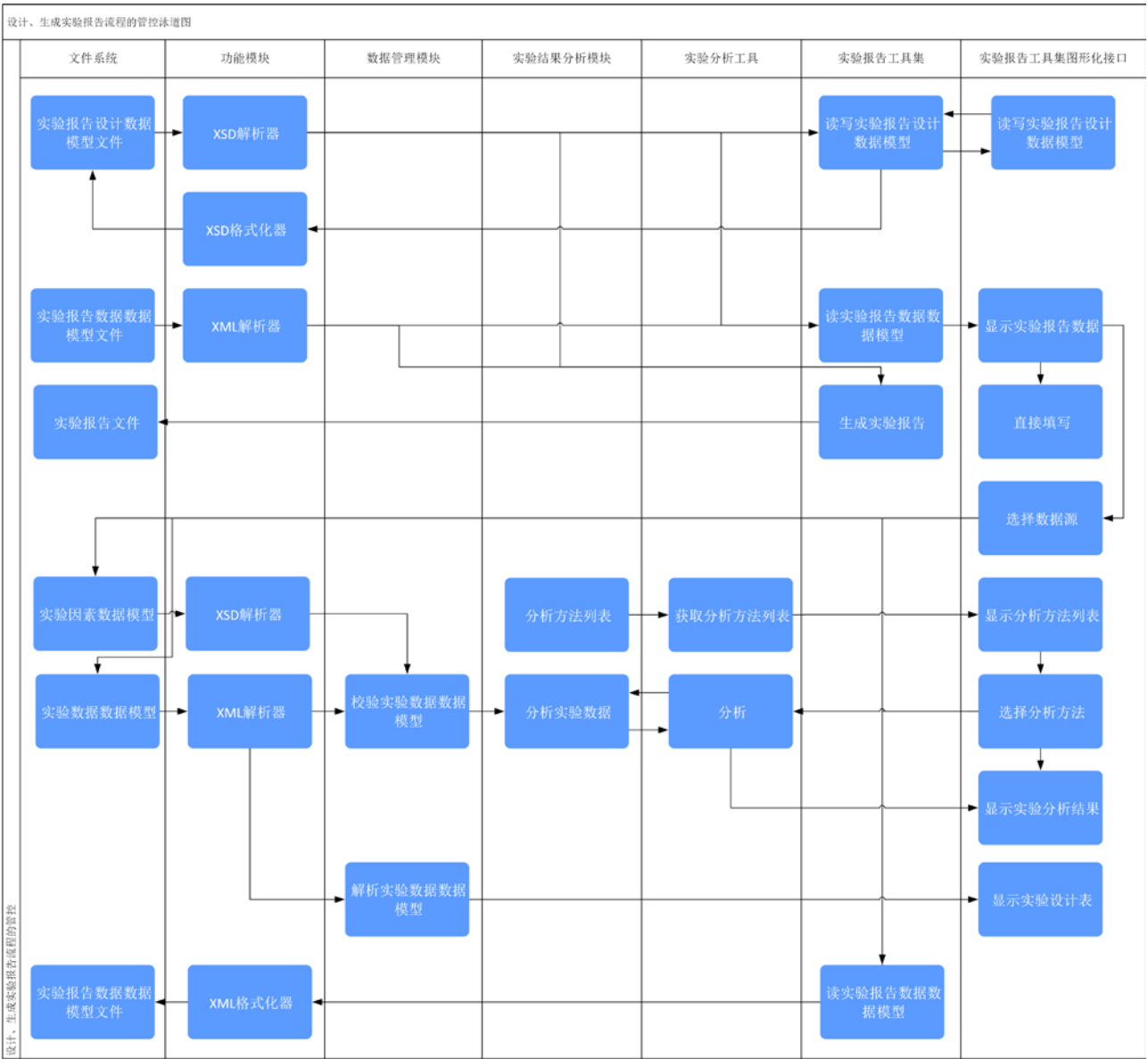


图 5.15 设计、生成实验报告流程的管控泳道图

5.8. 本章小结

本章主要阐述了可视化实验设计辅助工具实验项目文件管理器和实验流程管理器的实现，以及图形界面的设计与实现，为 CAR 开发框架的各个模块提供图形化接口。

第六章 可视化实验设计辅助工具的应用

6.1. 场景描述

现在假定要设计一种电池，能够选择的唯一设计参数是电极材料，有三种材料可以选择；同时，温度有可能影响电池的使用寿命。现在决定使用四次重复的二因子析因设计方法，在 3 个温度水平下（15°F、70°F、125°F）检验所有 3 种电极材料。

为方便阐述，现假定实验设计方法工具集中提供了 2 因素 3 水平 4 次重复析因设计方法的实现。同样假定实验分析模块提供了下述生成实验分析结果所需要的分析方法的实现。

为方便运算与显示，实验因素小数点后取 2 位。

6.2. 实验因素数据建模

根据 6.1 场景描述，实验因素及水平为：电极材料：1、2、3；温度：15、75、125°F。指标因素为：电池有效寿命（单位：小时）。所以，电极材料应当选用整数类型，枚举值为 1、2、3，无单位；温度应当选用实数类型，枚举值为 15、70、125，单位为°F；电池有效寿命应当选用实数类型，单位为 h。

新建实验项目，新建实验流程，然后在实验流程文件下新建实验因素数据模型文件，点击即可切换到 5.3.2 的实验因素建模视图，然后根据上述设定填写表单进行实验因素数据建模，如图 6.1 - 6.3 所示。

电极材料

实验因素名:
电极材料

基础类型:
实数

类型类别:
整数

☒ 是否是实验因素

实验因素类型:
实验因素

备注:

☐ 是否有最大值

☐ 是否有最小值

☐ 是否有有效位数

☐ 是否有总位数

☒ 是否有枚举值

1 X

2 X

3 X

+添加枚举值

属性表:

新增属性

温度

X

电池有效寿命

X

新增实验因素

保存

重置

图 6.1 对电极材料进行数据建模

电极材料

×

温度

×

实验因素名:

温度

基础类型:

实数

▼

类型类别:

实数

▼

☒ 是否是实验因素

实验因素类型:

实验因素

▼

备注:

☐ 是否有最大值

☐ 是否有最小值

☐ 是否有有效位数

☐ 是否有总位数

☒ 是否有枚举值

15

×

70

×

125

×

+添加枚举值

属性表:

属性名:

小数点后位数

▼

属性值:

2

属性名:

单位

▼

属性值:

°F

新增属性

电池有效寿命

×

新增实验因素

保存

重置

图 6.2 对温度进行数据建模

电极材料

×

温度

×

电池有效寿命

×

实验因素名:
电池有效寿命

基础类型:
实数

▼

类型类别:
实数

▼

☒ 是否是实验因素

实验因素类型:
指标因素

▼

备注:

☐ 是否有最大值

☐ 是否有最小值

☐ 是否有有效位数

☐ 是否有总位数

☐ 是否有枚举值

属性表:

属性名:
小数点后位数

▼

属性值:
2

属性名:
单位

▼

属性值:
h

新增属性

新增实验因素

保存

重置

图 6.3 对电池有效寿命进行建模

6.3. 生成实验设计方案表

新建实验操作，选择四次重复二因子析因设计方法。在实验操作索引文件下新建实验数据数据模型时，根据 5.7.3 所阐述的流程，实现了 2 因素 3 水平 4 次重复的析因设计方法的实验设计方法模块将会读入当前实验操作所属的实验流程下的实验因素数据模型文件，通过 XSD 解析器得到 XSD 模型，然后通过 4.3.2.2 所阐述的接口，使用 2 因素 3 水平 4 次重复的析因设计方法的算法，生成实验设计表等价的 XML 模型，并格式化在实验数据数据模型文件中，即完成了实验数据数据模型文件的初始化。这个时候，它等价于指标因素待填的实验设计表。如图 6.5 所示。

```
1  <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2  <experimental_design_table>
3      <batch>
4          <电极材料>2</电极材料>
5          <温度 unit="°F">15.000</温度>
6          <电池有效寿命 unit="h"/>
7      </batch>
8      <batch>
9          <电极材料>1</电极材料>
10         <温度 unit="°F">15.000</温度>
11         <电池有效寿命 unit="h"/>
12     </batch>
13     <batch>
14         <电极材料>1</电极材料>
15         <温度 unit="°F">125.000</温度>
16         <电池有效寿命 unit="h"/>
17     </batch>
18     <batch>
19         <电极材料>3</电极材料>
20         <温度 unit="°F">15.000</温度>
21         <电池有效寿命 unit="h"/>
22     </batch>
23     <batch>
24         <电极材料>1</电极材料>
25         <温度 unit="°F">15.000</温度>
26         <电池有效寿命 unit="h"/>
27     </batch>
```

图 6.5 生成的实验数据数据模型文件（部分）

6. 4. 读写实验设计方案表

在项目文件目录视图，选中实验数据文件即可切换到 5.4 的实验数据管理视图，然后根据 5.7.3 所阐述的流程，将会读取对应的实验数据数据模型文件，通过 XML 解析器得到 XML 内存模型，然后通过 4.2.1 的数据数据管理模块的解析实验数据数据模型接口，得到该实验数据数据模型对应的待填或已填的实验设计方案表，接着通过图 3.7 的接口类通信到视图上渲染。以供用户读写，如图 6.6 所示。

实验号	电极材料	温度	电池有效寿命	实验号	电极材料	温度	电池有效寿命
1	2	15.00°F	h	1	2	15.00°F	126h
2	1	15.00°F	h	2	1	15.00°F	130h
3	1	125.00°F	h	3	1	125.00°F	82h
4	3	15.00°F	h	4	3	15.00°F	110h
5	1	15.00°F	h	5	1	15.00°F	74h
6	3	15.00°F	h	6	3	15.00°F	138h
7	3	15.00°F	h	7	3	15.00°F	160h
8	3	70.00°F	h	8	3	70.00°F	120h
9	3	70.00°F	h	9	3	70.00°F	150h
10	2	15.00°F	h	10	2	15.00°F	188h
11	2	70.00°F	h	11	2	70.00°F	106h
12	3	70.00°F	h	12	3	70.00°F	174h
13	3	125.00°F	h	13	3	125.00°F	104h
14	2	15.00°F	h	14	2	15.00°F	150h
15	2	125.00°F	h	15	2	125.00°F	45h
16	3	125.00°F	h	16	3	125.00°F	82h
17	3	15.00°F	h	17	3	15.00°F	168h
18	1	15.00°F	h	18	1	15.00°F	155h
19	2	125.00°F	h	19	2	125.00°F	70h
20	2	70.00°F	h	20	2	70.00°F	122h
21	1	125.00°F	h	21	1	125.00°F	58h
22	2	70.00°F	h	22	2	70.00°F	136h
23	2	125.00°F	h	23	2	125.00°F	58h
24	3	125.00°F	h	24	3	125.00°F	96h
25	3	70.00°F	h	25	3	70.00°F	130h
26	1	70.00°F	h	26	1	70.00°F	40h
27	1	70.00°F	h	27	1	70.00°F	90h
28	1	125.00°F	h	28	1	125.00°F	70h
29	1	70.00°F	h	29	1	70.00°F	75h
30	1	70.00°F	h	30	1	70.00°F	34h
31	1	15.00°F	h	31	1	15.00°F	180h
32	2	125.00°F	h	32	2	125.00°F	25h
33	2	15.00°F	h	33	2	15.00°F	159h
34	2	70.00°F	h	34	2	70.00°F	115h
35	1	125.00°F	h	35	1	125.00°F	20h
36	2	70.00°F	h	36	3	125.00°F	60h

保存重置

保存重置

图 6. 6 读写实验设计方案表（左待填，右已填）

用户保存实验设计方案，管理器更新实验设计方案表后，通过图 3.7 的接口类的通信，

数据管理工具从视图上得到新的实验设计方案表。然后，根据 5.7.3 所阐述的流程，该实验设计方案表将传入 4.2.1 的数据管理模块格式化实验数据数据模型得到 XML 模型，然后通过 XML 格式化器保存到对应的实验数据数据模型文件上。

6.5. 生成实验分析结果

可以从项目文件目录视图中的实验数据数据模型文件上直接进行生成实验分析结果，也可以在菜单栏上生成→生成实验分析结果后选中某个实验数据数据模型生成实验分析结果。然后，根据 5.7.4 的阐述，将会从该实验操作对应的实验设计方法的实验分析模块中获取可用的分析方法，通过实验分析工具及其接口通信并渲染到视图上供用户选择。

用户选择后，将读取该实验数据数据模型文件，通过 XML 解析器到 XML 内存模型以及读取该实验操作所属的实验流程的实验因素数据模型文件，通过 XSD 解析器到 XSD 模型，并将用户选择的分析方法的索引值传给 4.3.2.3 所阐述的实验结果分析模块。实验分析工具将得到的结果与其接口类通信传到视图上。

视图将根据 5.5 的阐述，解析分析结果，并根据分析结果的类型做出相应的响应：如果是 Raw 或者 Html5 则直接渲染，如果是 None 则跳出错误对话框，如果是 Table 则分析分析结果对应的数据结构，给出可用的图表类型供用户选择。用户选择图表类型之后，通过用户选择的图表类型对应的渲染方法渲染分析结果。

如图 6.7 所示，展示了两种分析结果的渲染效果：第一种是 Html5，第二种是 Table，并选择较为合适的热力图渲染该分析结果。



图 6.7 生成实验分析结果

6. 6. 本章小结

本章以一个实际的例子，展示前文阐述的可视化实验设计辅助工具在实验设计上的应用方法与流程。

第七章 总结与展望

随着现实世界各种各样复杂产品、系统的研发，繁杂而又充满随机性的参数调整总是会耗费大量的时间和资源。使用科学的实验设计方法，配合计算机的辅助，在一定程度上能够减少这些损耗。

针对上述的这个需求，本文设计并实现了 CAR 开发框架与可视化实验设计辅助工具。借助 XML、XSD 等技术和工具，将实验流程涉及到的各个模块的耦合级别控制在了数据耦合，使实验设计辅助工具的开发和实验设计方法的开发能够从事事实上实现了模块化，提供了根据实际情况，订制实验设计方法的可能性。

与金宁宁和张芝永设计的基于 Visual Basic（下简称 VB）的正交试验设计的软件^[2]相比，本文提出的解决方案能更加有效地解决在同一个实验设计辅助工具里兼容不同实验设计方法的问题，并且利用 XML 和 XSD 实现了流程间的解耦合，令用户利用实验设计方法进行实验的过程的碎片化。

与许文腾，卢湛夷和曲宏宇利用 XML 实现的实验设计工具^[3]相比，本文提出的解决方案能够提供更复杂的数据建模方法，为根据用户的实际需求和领域需求定制化开发实验设计方法提供了可能性。

但是，本文提出的解决方案并未完全将 XSD 用于数据建模的功能完全发挥出来，由于时间所限，有一些关于该解决方案优化的想法只停留在了纸面：

(1) 将实验设计方法模块从静态配置改为动态配置，以让用户自己选择安装自己所需的实验设计方法；

(2) 加强 XSD 数据建模的应用，提供更加复杂的数据建模接口，以适配更加复杂的实验参数；

(3) 设计并实现一个表达式解析的模块，以实现在现有的 XSD 数据模型的数值数据上表达参数间的关系，让计算机自动对直接观测值计算得到间接观测值，配合十进制高精度实数类，应当能满足绝大多数科学计算的需求；

(4) 设计并实现一个量纲分析的模块，以实现在现有的 XSD 数据模型的数值数据的单位上进行校验的功能；

(5) 与语义网前沿技术接轨，基于 Web 语义化技术更深层次的数据建模技术来重构数据建模和数据管理模块。

另外，该解决方案在架构设计上是支持不同实验流程之间的数据交互以及不同实验操作之间数据的交叉分析，但由于时间有限，并没有在设计上考虑这方面的需求，然而在实际使用上是存在这样的需求的。例如，在正式实验前先做一次预实验，缩小参数的取值范围，正式实验的参数取值范围理应当在工具上能从预实验获取或通过预实验直接生成正式实验的试验方案。

由于时间有限，本文只完成了最基本的框架，这些未实现的需求或锦上添花的功能都是该解决方案存在的可以进一步研究与改良的方面。

参考文献

- [1] 曾庆莹, 王阿川. 计算机辅助试验设计[J]. 信息技术, 2008, 32(7): 146-148.
- [2] 金宁宁, 张芝永. 基于 VB 的正交试验设计的软件开发及应用[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2011, 30(1):72-75.
- [3] 许文腾, 卢湛夷, 曲宏宇. 基于 Morris 方法的仿真试验设计工具研究[J]. 系统仿真技术, 2014, 10(02): 171-176.
- [4] Grigoris Antoniou, Paul Groth, Rinke Hoekstra et al. 语义网基础教程[M]. 第 3 版, 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [5] W3C. Extensible Markup Language (XML)[Z]. <https://www.w3.org/XML/>: W3C, 2016
- [6] 顾婷婷, 李涛, 尹鹏, 等. RSA 和 RSA 数字签名的实现[J]. 网络安全技术与应用, 2001(7):34-36.
- [7] 刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析方法研究[J]. 实验技术与管理, 2010, 27(9):52-55.
- [8] 庞善起. 正交表的构造方法及其应用[D]. 西安电子科技大学, 2003.
- [9] 刘振学, 王力, 等. 实验设计与数据处理[M]. 第 2 版, 北京: 化学工业出版社, 2015.
- [10] 方开泰. 均匀设计方法与均匀设计方法表[M]. 科学出版社, 1994.
- [11] 方开泰. 均匀设计方法及其应用[J]. 数理统计与管理, 1994(1):57-63.

致 谢

这次毕业设计可以圆满的完成，首先衷心地感谢我的指导老师康达周老师，每次跟康老师讨论问题时，他总能在我提出问题时给我指出一个清晰的思考方向，让我能够快速确立研究的方向。

同时也要感谢我的家人、同学和朋友，是他们给予的默默支持帮助我顺利地完成了毕业设计的工作。

附 录