高等程序设计 - Qt/C++

第 2 章：C++ 语言基础与进阶

王培杰

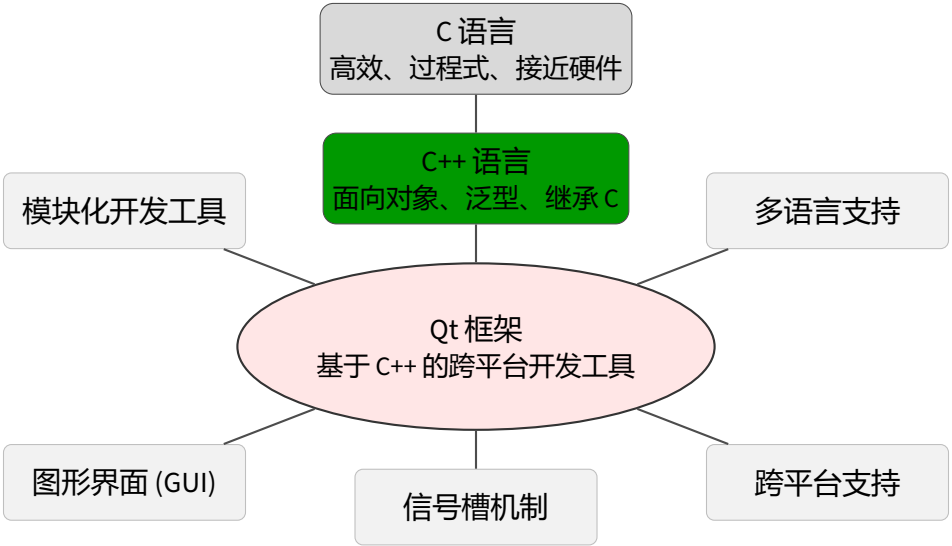
长江大学地球物理与石油资源学院

2025 年 9 月 29 日

目录

目录

C、C++ 与 Qt 关系


C 语言
高效、过程式、接近硬件
C++ 语言
面向对象、泛型、继承 C
模块化开发工具
多语言支持
Qt 框架
基于 C++ 的跨平台开发工具
图形界面 (GUI)
信号槽机制
跨平台支持

C、C++ 与 Qt 关系

- **C 语言**：
  - 诞生于 20 世纪 70 年代，是一种结构化、过程式的高级编程语言。
  - 以高效、接近底层硬件著称，广泛应用于操作系统、嵌入式开发、驱动程序等领域。
  - C 语言为 C++ 提供了坚实的基础，C++ 完全兼容 C 语言，是 C 的超集。
- **C++**：
  - 由 Bjarne Stroustrup 于 20 世纪 80 年代初开发，在 C 语言基础上引入了面向对象编程（OOP）、泛型编程等特性。
  - 支持类、继承、多态、模板等高级特性，适合开发大型复杂系统。
  - C++ 不仅能编写高效底层代码，还能实现高层次的抽象，兼容 C 语言代码，便于项目迁移和扩展。
- **Qt**：
  - Qt 是一个基于 C++ 的跨平台应用程序开发框架，现由 Qt Company 维护。
  - 提供了丰富的 GUI（图形用户界面）组件、信号槽机制、网络、数据库、多媒体等模块，极大提升了 C++ 开发效率。
  - 支持 Windows、Linux、macOS、Android 等多平台，代码可移植性强。
  - Qt 不仅适用于桌面应用开发，也广泛应用于嵌入式系统、移动端等领域，是 C++ 开发 GUI 和跨平台应用的首选框架之一。

C、C++ 与 Qt 学习路线（正常版）

- **第一阶段：C 语言基础**
  - 学习 C 语言的基本语法、数据类型、运算符、流程控制（顺序、选择、循环）。
  - 掌握函数、数组、指针、结构体、文件操作等核心内容。
  - 了解内存管理、编译与调试基础，为后续学习打下坚实基础。
- **第二阶段：C++ 进阶**
  - 在 C 语言基础上，学习 C++ 的面向对象编程（OOP）思想，包括类、对象、继承、多态、封装等。
  - 掌握 C++ 的模板、STL（标准模板库）、异常处理、运算符重载等高级特性。
  - 了解 C++11/14/17 等新标准的常用特性，为现代 C++ 开发做准备。
- **第三阶段：Qt 开发实践**
  - 学习 Qt 的基本概念、开发环境搭建、项目结构。
  - 掌握 Qt 的信号与槽机制、常用控件、布局管理、事件处理等 GUI 开发基础。
  - 进阶学习 Qt 的多线程、网络编程、数据库、多媒体、绘图等模块。
  - 了解 Qt 的跨平台特性，能够在不同操作系统下进行开发与部署。
  - 通过实际项目练习，提升综合开发能力。

C、C++ 与 Qt 学习路线（非常规路径）

直接上手 Qt

- 跳过传统 C/C++ 基础，直接从 Qt 入门，先体验图形界面开发的乐趣。
- 以实际项目驱动学习，边做边学，遇到 C++ 语法和概念时再查阅补充。
- 重点掌握 Qt 的信号与槽、常用控件、布局管理、事件处理等 GUI 开发核心。
- 随着项目深入，逐步接触 Qt 的多线程、网络、数据库、多媒体、绘图等高级模块。
- 利用 Qt 的跨平台特性，尝试在不同操作系统下编译和运行项目，提升实战能力。

以 Qt 为载体学习 C++

- 以 Qt 项目开发为主线，带动 C++ 语法、面向对象、模板等知识的学习。
- 在实际编码中理解类、继承、多态、信号槽等 C++ 与 Qt 结合的用法。
- 通过分析和修改 Qt 源码或示例，深入理解 C++ 的高级特性和 Qt 的设计思想。
- 结合 Qt 丰富的模块，逐步掌握 C++ 在实际工程中的应用场景。
- 以项目为驱动，理论与实践结合，快速提升 C++ 与 Qt 的综合开发能力。

目录

C 语言概述

C 语言的重要性

- **系统编程语言**：操作系统、驱动程序、嵌入式系统
- **高效性**：直接内存操作，编译型语言，执行效率高
- **强类型语言**：编译时类型检查，减少运行时错误
- **底层控制**：指针、位操作、内存管理
- **C++ 基础**：C++ 完全兼容 C 语言，是 C 的超集

C 语言特点

- **简洁高效**：语法简洁，编译后执行效率高
- **可移植性**：标准 C 代码可在不同平台编译运行
- **底层抽象**：提供硬件抽象，但不隐藏底层细节
- **过程式编程**：函数式编程范式，模块化设计

基本数据类型

- **整数类型**：
  - `int`：标准整型，通常用于存储整数，大小一般为 4 字节（32 位系统/编译器）。
  - `short`：短整型，通常为 2 字节，适合存储较小范围的整数。
  - `long`：长整型，通常为 4 或 8 字节，能表示更大范围的整数。
  - `char`：字符型，通常为 1 字节，用于存储单个字符或小整数。
- **浮点类型**：
  - `float`：单精度浮点型，通常为 4 字节，适合存储小数，精度有限。
  - `double`：双精度浮点型，通常为 8 字节，精度更高，适合需要更高精度的计算。
- **修饰符**：
  - `signed`：有符号类型，能表示正数和负数（如 `signed int`）。
  - `unsigned`：无符号类型，只能表示非负数，范围更大（如 `unsigned int`）。
- **类型大小**：不同平台和编译器下，类型所占字节数可能不同。

变量和常量

- **变量声明**：`类型变量名;`。变量用于存储可变的数据，声明时可初始化（如 `int b = 10;`）。
- **常量定义**：
  - `const` 关键字：如 `const int MAX = 100;`，定义只读变量，编译期间检查不可修改。
  - `#define` 宏定义：如 `#define PI 3.14`，在预处理阶段进行文本替换，常用于全局常量。
- **作用域**：
  - **局部变量**：在函数或代码块内部声明，只在其作用范围内有效。
  - **全局变量**：在所有函数外部声明，整个文件都可访问。
  - **静态变量**：用 `static` 修饰，静态变量在函数多次调用间保持值不变。
- **存储类**：
  - `auto`：自动存储类，局部变量默认类型，现代 C 已很少显式使用。
  - `static`：静态存储类，延长变量生命周期，见上。
  - `extern`：外部变量声明，用于引用其他文件的全局变量。
  - `register`：将变量存储在 CPU 寄存器中，提高访问速度，现代编译器通常自动优化。

C 语言条件语句：if-else

if-else 语句

- **基本语法**：`if (条件) {语句块 1} else {语句块 2}`
- **功能**：根据条件表达式的真假，选择执行不同的代码块。
- **嵌套**：if 语句可以嵌套使用，实现多级判断。

<MINTED>

<MINTED>

C 语言条件语句：switch-case

switch-case 语句

- **基本语法**：`switch (表达式) { case 常量: 语句; break; ... default: 语句; }`
- **功能**：根据表达式的值，选择匹配的 case 分支执行。
- **注意事项**：每个 case 后通常加 `break`，否则会”贯穿”执行到下一个 case。

<MINTED>

switch 条件表达式限定

- **switch 条件表达式**：必须是整数类型（如 `int`、`char`）。
- **case 常量**：必须是整数常量，且每个 case 的常量值必须不同。
- **default**：可选，用于处理未匹配的 case。

C 语言循环结构详解

for 循环

- **基本语法**：`for(初始化; 条件; 更新){循环体}`
- **功能**：适合已知循环次数的场景。
- **执行顺序**：初始化 → 条件检查 → 循环体 → 更新 → 条件检查...

<MINTED>

C 语言循环结构详解

while 和 do-while 循环

- **while 循环语法**：`while(条件){循环体}`
- **特点**：先判断条件，后执行循环体，可能一次都不执行。
- **do-while 循环语法**：`do{循环体}while(条件);`
- **特点**：先执行循环体，再判断条件，至少执行一次。

<MINTED>

<MINTED>

break 和 continue 在循环中的应用

- **break**：跳出当前循环，循环提前结束。
- **continue**：跳过本次循环剩余部分，直接进入下一次循环判断。

<MINTED>

C 语言函数的基本概念

什么是函数?

- **函数**是实现特定功能的独立代码块，可以重复调用。
- 通过函数可以将复杂问题分解为若干小问题，便于模块化设计和代码复用。
- C 语言的函数包括**标准库函数**（如 `printf`、`scanf`）和**用户自定义函数**。

<MINTED>

<MINTED>

C 语言函数的声明与定义

函数声明

- 作用：告诉编译器函数的名称、返回值类型和参数类型。
- 位置：一般写在文件开头或头文件中。
- 语法：返回类型 函数名 (参数类型列表);
- 例：`int add(int a, int b);`

函数定义

- 作用：给出函数的具体实现。
- 位置：函数声明之后，函数调用之前。
- 语法：返回类型 函数名 (参数列表){函数体}
- 例：`int add(int a, int b){ return a+b; }`

C 语言函数的调用

函数调用的基本过程

- 使用函数名（实参列表）的形式调用函数。
- 调用时，实参的值会传递给函数的形参。
- 函数执行完毕后，将结果（如果有）返回给调用处。

<MINTED>

C 语言参数传递方式

值传递（pass by value）

- 调用函数时，将实参的值复制一份传递给形参。
- 在函数内部对形参的修改，不会影响到外部的实参变量。
- 适用于基本数据类型（如 `int`、`float` 等）。

值传递定义：

<MINTED>

值传递示例：

<MINTED>

C 语言参数传递方式

指针传递（地址传递，pass by pointer/address）

- 通过传递变量的地址（指针）给函数，实现对外部变量的直接修改。
- 在函数内部通过解引用指针，可以改变外部变量的值。
- 适用于需要在函数内修改外部变量，或传递大型数据结构（如数组）。

指针传递定义：

<MINTED>

指针传递示例：

<MINTED>

C 语言函数的返回值与 void 类型

返回值

- C 语言函数可以有返回值，也可以没有返回值。返回值用于将函数内部计算的结果传递给调用者。
- 返回值类型在函数声明和定义时指定。例如，`int add(int a, int b)` 表示返回类型为 `int`。
- 使用 `return` 语句返回结果。例如：`return a + b;`。
- 如果函数有返回值，必须保证所有可能的执行路径都能返回一个与声明类型一致的值。
- 调用有返回值的函数时，通常用变量接收返回结果。
- 如果函数声明为非 `void` 类型但未返回值，编译器会发出警告或错误。

void 类型

- `void` 类型表示函数没有返回值。此类函数只执行操作，不向调用者返回数据。
- `void` 函数可以使用 `return;` 语句提前结束函数，但不能带返回值。

C 语言函数的作用与注意事项

函数的优点

- 可读性
- 可维护性
- 可测试性
- 可扩展性
- 可重用性
- 可移植性
- 模块化

注意事项

- 函数名不能重复
- 函数声明与定义要一致
- 参数类型和个数要与声明一致
- 注意变量作用域和生命周期
- 返回值类型要匹配
- 避免递归陷入死循环
- 参数传递方式要明确
- 防止未初始化变量参与运算

什么是指针

- 指针是存储变量内存地址的变量。通过指针可以间接访问和操作内存中的数据。
- 声明指针：使用 `*` 声明指针类型，如 `int *p;` 表示 `p` 是一个指向 `int` 类型的指针。
- 取地址操作符 `&`：`p = &x;` 将变量 `x` 的地址赋值给指针 `p`。
- 解引用操作符 `*`：`*p` 访问指针所指向的内存单元的值。

<MINTED>

指针与变量

- 通过指针可以修改变量的值。
- 指针本身也是一个变量，存储的是地址。

代码示例

<MINTED>

指针与数组

指针与数组

- 数组名本质上是首元素的指针，指针可以遍历数组元素。
- 指针可以进行加减运算（如 `p++`），步长为所指类型的字节数，常用于数组遍历。

指针访问数组代码示例

<MINTED>

指针修改数组代码示例

<MINTED>

指针常见错误

未初始化指针

- **问题描述**：指针变量声明后未赋初值，其值为随机地址（垃圾值）
- **风险**：访问未初始化指针可能导致程序崩溃、数据损坏或安全漏洞
- **示例**：`int* ptr;` 后直接使用 `*ptr = 10;` 是危险操作
- **解决方案**：声明指针时立即初始化为 `NULL` 或具体地址

访问已释放内存

- **问题描述**：指针指向的内存已经被释放，但程序仍然尝试访问该内存
- **风险**：可能导致程序崩溃、数据损坏或安全漏洞
- **示例**：`int* ptr = malloc(sizeof(int)); free(ptr); *ptr = 20;` 是危险操作
- **解决方案**：释放内存后立即将指针置为 `NULL`，并在访问前检查指针是否为 `NULL`

指针常见错误

指针越界

- **问题描述**：指针访问了超出其合法范围的内存区域
- **风险**：可能导致程序崩溃、数据损坏或安全漏洞
- **示例**：`int arr[5]; int* p = arr; p[5] = 10;` 访问了数组外的内存
- **解决方案**：确保指针操作在合法范围内，检查数组边界

内存泄漏

- **问题描述**：动态分配的内存没有被正确释放，导致内存被持续占用
- **风险**：可能导致程序内存不足，性能下降或崩溃
- **示例**：`int* ptr = malloc(sizeof(int));` 没有对应的 `free(ptr);`
- **解决方案**：确保每个 `malloc()` 都有对应的 `free()`，使用工具检测内存泄漏

指针常见错误

野指针

- **问题描述**：指针指向已释放或无效的内存地址
- **风险**：可能导致程序崩溃、数据损坏或安全漏洞
- **示例**：`int* ptr = malloc(sizeof(int)); free(ptr); *ptr = 20;` 是危险操作
- **解决方案**：释放内存后立即将指针置为 `NULL`，并在访问前检查指针是否为 `NULL`

悬空指针

- **问题描述**：指针指向的对象已经被销毁，但指针仍然保留原地址
- **风险**：访问悬空指针可能导致未定义行为、程序崩溃
- **示例**：函数返回局部变量的地址，或在对象销毁后继续使用指向它的指针
- **解决方案**：避免返回局部变量地址，在对象生命周期结束后将指针置为 `NULL`

内存分区与动态分配

- C 程序运行时内存主要分为代码区、全局/静态区、栈区和堆区。
- 栈内存：局部变量和函数参数存储在栈区，由系统自动分配和释放，空间有限，生命周期随函数调用结束而结束。
- 堆内存：通过 `malloc()` 等函数动态分配，需手动用 `free()` 释放，适合存储生命周期较长或大小不确定的数据。

<MINTED>

堆与栈内存

栈内存（Stack）

- **什么是栈**：就像一个”临时储物架”，存放局部变量和函数调用信息
- **特点**：空间较小但速度快，系统自动管理，无需程序员操心
- **管理方式**：随函数调用自动分配，函数结束自动回收
- **适用场景**：适合存放临时、大小固定的数据，不需要跨函数共享

堆内存（Heap）

- **什么是堆**：就像一个”大仓库”，程序运行时可以按需申请内存空间
- **特点**：空间很大很灵活，适合存放需要长期使用或者大小不确定的数据
- **管理方式**：需要程序员自己申请和释放，C 语言用 `malloc()` 等，C++ 用 `new/delete`
- **注意事项**：用完必须手动释放，否则会造成**内存泄漏**（就像借了东西不还）
- **优缺点**：分配速度较慢，但容量大，适合动态需求

堆与栈内存的硬件视角

栈内存的硬件实现

- **专用寄存器**：CPU 有专门的” 栈指针” 寄存器来记录栈顶位置
- **硬件指令**：CPU 提供专门的 PUSH/POP 指令来操作栈内存
- **内存位置**：栈通常位于内存的高地址区域，向下增长
- **速度快的原因**：栈访问有规律，容易命中 CPU 缓存，所以很快

堆内存的硬件机制

- **动态申请**：需要向操作系统申请内存块，就像” 租用” 内存
- **地址映射**：通过内存管理单元将虚拟地址映射到物理地址
- **碎片问题**：频繁申请释放会产生” 内存碎片”，需要特殊管理
- **速度慢的原因**：堆访问比较随机，不容易命中缓存，所以较慢

C 语言结构体

结构体概念

- **复合数据类型**：将不同类型的数据组合在一起
- **成员访问**：使用 . 运算符
- **指针访问**：使用 -> 运算符
- **内存对齐**：结构体成员的内存布局

结构体应用

- **数据封装**：将相关数据组织在一起
- **函数参数**：传递复杂数据结构
- **链表实现**：自引用结构体
- **面向对象基础**：C++ 类的雏形

C 语言结构体示例

<MINTED>

<MINTED>

C 语言与 C++ 的关系

兼容性

- **完全兼容**：C++ 是 C 的超集，几乎所有的 C 代码都是有效的 C++ 代码
- **语法兼容**：C 的基本语法在 C++ 中完全支持
- **库兼容**：C 标准库在 C++ 中可用（需要适当的头文件）
- **编译兼容**：C++ 编译器可以编译 C 代码

C++ 对 C 的扩展

- **面向对象**：类、继承、多态
- **函数重载**：同名函数不同参数
- **引用**：变量的别名
- **模板**：泛型编程
- **异常处理**：try-catch 机制
- **命名空间**：避免名称冲突

底层语言的特点

强类型语言的优势

- **编译时检查**：类型错误在编译时发现，减少运行时错误
- **性能优化**：编译器可以根据类型信息进行优化
- **内存安全**：类型系统帮助防止内存访问错误
- **代码可读性**：类型信息使代码意图更清晰

底层语言的优势

- **直接内存操作**：指针和位操作，精确控制内存
- **高效执行**：编译为机器码，执行效率高
- **硬件抽象**：提供硬件抽象但不隐藏底层细节
- **系统编程**：适合操作系统、驱动程序开发
- **资源控制**：精确控制 CPU、内存等资源

目录

C++ 语言发展历程

C++ 的起源与设计理念

- **1980 年代**：Bjarne Stroustrup 在贝尔实验室开发
- **设计目标**：结合 C 的高效性和 Simula 的面向对象特性
- **核心理念**：零开销抽象原则（Zero-Overhead Principle）
- **应用领域**：系统编程、应用开发、嵌入式系统

C++ 标准版本演进

- **C++98** (1998 年) - 第一个国际标准，确立基础语法
- **C++03** (2003 年) - 技术修正版本，修复缺陷
- **C++11** (2011 年) - 现代 C++ 开始，重大更新
- **C++14** (2014 年) - 功能完善和优化
- **C++17** (2017 年) - 标准库增强
- **C++20** (2020 年) - 最新标准，重大特性

C++11：现代 C++ 的转折点

C++11 的重大创新

- **智能指针**：`std::unique_ptr`, `std::shared_ptr`
- **Lambda 表达式**：函数式编程支持
- **移动语义**：性能优化的革命性改进
- **auto 关键字**：类型推导，简化代码
- **范围 for 循环**：更简洁的迭代语法
- **nullptr**：类型安全的空指针

对编程范式的影响

- **从 OOP 到多范式**：支持面向对象、泛型、函数式编程
- **性能优先**：移动语义显著提升性能
- **安全性提升**：智能指针减少内存泄漏
- **代码简化**：auto 和 Lambda 减少样板代码

C++14/17/20：持续演进

C++14 增强

- **泛型 Lambda**：支持 auto 参数
- **变量模板**：模板变量声明
- **数字分隔符**：提高可读性
- **std::make_unique**：智能指针工厂

C++17 新特性

- **结构化绑定**：多返回值处理
- **std::optional**：可选值类型
- **std::variant**：类型安全联合
- **并行算法**：标准库并行化

C++20 重大更新

- **概念 (Concepts)**：模板约束系统
- **协程 (Coroutines)**：异步编程支持
- **模块 (Modules)**：编译时依赖管理
- **三向比较**：<=> 操作符

C++ 语言特点

多范式编程语言

- **面向对象编程**：封装、继承、多态，支持抽象和重用
- **泛型编程**：模板、STL，编译时多态
- **过程式编程**：函数、模块化设计（继承自 C 语言）
- **函数式编程**：Lambda 表达式、算法库

C 语言兼容性

- **完全兼容**：C++ 是 C 的超集，几乎所有的 C 代码都是有效的 C++ 代码
- **底层控制**：保留 C 语言的指针、内存管理、位操作等底层特性
- **性能优先**：零开销抽象原则，高级特性不带来性能损失
- **系统编程**：适合操作系统、驱动程序、嵌入式系统开发

C++ 的应用领域与优势

主要应用领域

- **系统软件**：操作系统、驱动程序
- **游戏开发**：引擎、图形渲染
- **嵌入式系统**：实时控制、IoT 设备
- **高性能计算**：科学计算、金融交易
- **桌面应用**：Qt、MFC、WPF

技术优势

- **跨平台**：一次编写，多处运行
- **类型安全**：编译时类型检查
- **向后兼容**：C 语言兼容性，平滑过渡
- **标准化**：ISO 标准，长期稳定
- **生态系统**：丰富的库和工具链
- **底层控制**：直接内存操作，高效执行

与其他语言的比较

- **vs C**：更强的类型安全，面向对象支持，但保持底层控制能力
- **vs Java**：更高的性能，更直接的内存控制，无虚拟机开销
- **vs Python**：编译型语言，执行效率更高，强类型检查
- **共同特点**：都是强类型语言，编译时检查，适合系统编程

C++ 与 Qt 的关系

Qt 框架的 C++ 基础

- **原生 C++ 框架**：Qt 完全用 C++ 编写，无虚拟机依赖
- **面向对象设计**：充分利用 C++ 的封装、继承、多态特性
- **现代 C++ 支持**：支持 C++11 及以后特性，包括智能指针、Lambda 等
- **跨平台抽象**：统一不同操作系统的 API，实现真正的跨平台

Qt 的 C++ 特性应用

- **信号槽机制**：基于函数指针和回调
- **元对象系统**：运行时类型信息和反射
- **内存管理**：父子对象关系，自动清理
- **模板应用**：容器类、算法库

学习 C++ 的优势

- **类型安全**：编译时错误检查，减少运行时错误
- **性能优化**：C++ 的高效执行
- **生态系统**：丰富的第三方库和工具支持

Qt 与 C++ 的协同优势

开发效率提升

- **快速原型**：Qt Designer 可视化设计
- **代码生成**：uic 工具自动生成 UI 代码
- **调试支持**：集成调试器和性能分析
- **文档完善**：详细的 API 文档和示例

性能与稳定性

- **编译优化**：C++ 编译器深度优化
- **内存安全**：RAII 和智能指针
- **异常处理**：C++ 异常机制
- **线程安全**：Qt 的线程模型

学习路径建议

- **基础阶段**：掌握 C++ 基本语法和面向对象概念
- **进阶阶段**：学习现代 C++ 特性和 Qt 框架
- **实践阶段**：结合项目开发，深入理解两者结合
- **高级阶段**：性能优化、设计模式、架构设计

C++ 基础语法概述

C++ 对 C 的语法扩展

- **完全兼容 C**：C++ 是 C 的超集，所有 C 代码都是有效的 C++ 代码
- **面向对象扩展**：类、对象、继承、多态
- **函数重载**：同名函数不同参数类型
- **引用类型**：变量的别名，避免指针的复杂性
- **命名空间**：避免名称冲突
- **异常处理**：try-catch 机制

C++ 语法特点

- **强类型**：编译时类型检查，类型安全
- **静态类型**：类型在编译时确定
- **编译型语言**：直接编译为机器码
- **多范式**：支持过程式、面向对象、泛型编程

C++ 基本数据类型

C++ 数据类型扩展

- **bool 类型**：`true` 和 `false`，C++ 原生支持
- **wchar_t**：宽字符类型，支持 Unicode
- **引用类型**：`int&`、`double&` 等
- **类类型**：用户自定义类型
- **模板类型**：泛型类型

类型安全增强

- **类型转换**：显式类型转换，避免隐式转换错误
- **const 修饰符**：常量类型，防止意外修改
- **类型推导**：auto 关键字，编译器自动推导类型
- **nullptr**：类型安全的空指针（C++11）

C++ 变量和常量声明

C++ 变量声明增强

- **引用声明**：`int& ref = x;` 创建变量的别名
- **const 引用**：`const int& ref = x;` 只读引用
- **auto 关键字**：`auto x = 42;` 自动类型推导
- **decltype**：`decltype(expr)` 推导表达式类型

常量声明

- **const 常量**：`const int MAX = 100;`
- **constexpr**：编译时常量（C++11）
- **constinit**：编译时初始化（C++20）
- **const 成员函数**：`void func() const;`

C++ 变量和常量示例

<MINTED>

C++ 运算符和表达式

C++ 运算符扩展

- **作用域解析运算符**：`::` 访问全局变量或类成员
- **成员访问运算符**：`.` 和 `->` 访问对象成员
- **类型转换运算符**：`static_cast`、`dynamic_cast`
- **条件运算符**：`?:` 三元运算符

表达式增强

- **函数调用表达式**：支持函数重载和默认参数
- **成员函数调用**：`obj.func()` 或 `ptr->func()`
- **模板实例化**：`vector<int> v;`
- **Lambda 表达式**：`[](int x) { return x * 2; }`

C++ 控制结构

C++ 控制结构增强

- **范围 for 循环**：`for (auto& item : container)` (C++11)
- **初始化语句**：`if (auto it = find(x); it != end())`
- **结构化绑定**：`auto [x, y] = pair;` (C++17)
- **switch 增强**：支持初始化语句和 fallthrough

异常处理

- **try-catch**：异常捕获和处理
- **throw**：抛出异常
- **noexcept**：指定函数不抛出异常
- **RAII**：资源获取即初始化

C++ 函数

C++ 函数特性

- **函数重载**：同名函数不同参数类型或数量
- **默认参数**：`void func(int x = 0, int y = 0);`
- **内联函数**：`inline` 关键字
- **函数模板**：泛型函数
- **Lambda 表达式**：匿名函数

函数调用约定

- **值传递**：`void func(int x);` 传递副本
- **引用传递**：`void func(int& x);` 避免拷贝
- **const 引用**：`void func(const int& x);` 只读
- **右值引用**：`void func(int&& x);` 移动语义

C++ 函数示例

<MINTED>

<MINTED>

C++ 函数重载

<MINTED>

<MINTED>

Lambda 表达式

Lambda 表达式语法

- `[capture](parameters) -> return_type { body }`
- capture：捕获外部变量
- parameters：参数
- return_type：返回类型
- body：函数体

Lambda 表达式捕获

- `[]`：不捕获任何外部变量。若在 Lambda 体内使用未捕获的外部变量会导致编译错误。
- `[x, &y]`：x 以值捕获，y 以引用捕获。
- `[&]`：所有被用到的外部变量都以引用方式捕获。
- `[=]`：所有被用到的外部变量都以值方式捕获。
- `[&, x]`：x 以值方式捕获，其余变量以引用方式捕获。
- `[=, &z]`：z 以引用方式捕获，其余变量以值方式捕获。

C++ Lambda 表达式示例

<MINTED>

C++ 数组

C++ 数组增强与细节

- **原生数组**：如 `int arr[5];`，大小固定，不能自动推断长度，越界不安全。
- **std::array**：C++11 引入，固定大小、类型安全，支持标准库算法，如 `std::array<int, 5> arr;`。
- **std::vector**：动态数组，自动管理内存，可动态扩容，常用操作有 `push_back`、`size`、`at` 等。
- **初始化列表**：可用于原生数组、`std::array`、`std::vector`，如 `int arr[] = {1, 2, 3};` 或 `std::vector<int> v = {1,2,3};`。
- **范围 for 循环**：C++11 起支持，简化遍历，如 `for (auto x : arr) {}`，适用于原生数组、`std::array`、`std::vector`。
- **迭代器遍历**：`std::vector` 和 `std::array` 支持迭代器，可用 `begin()` 和 `end()` 进行灵活遍历。
- **内存安全**：`std::vector` 的 `at()` 方法有越界检查，原生数组无越界保护。
- **多维数组**：原生数组、`std::array`、`std::vector` 均可实现多维数组。

C++ 原生数组示例

<MINTED>

C++std::array 示例

<MINTED>

C++std::vector 示例

<MINTED>

<MINTED>

C++ 指针和引用

C++ 指针增强

- **nullptr**：类型安全的空指针（C++11）
- **智能指针**：`std::unique_ptr`、`std::shared_ptr`
- **void 指针**：`void*` 通用指针
- **函数指针**：指向函数的指针

C++ 引用

- **左值引用**：`int& ref = x;`
- **常量引用**：`const int& ref = x;`
- **右值引用**：`int&& ref = 42;`（C++11）
- **引用 vs 指针**：引用更安全，不能为空

C++ 指针示例

<MINTED>

C++ 引用示例

<MINTED>

目录

什么是类?

- 类是对象的蓝图或模板
- 类定义了对象的结构和行为
- 类包含数据成员和成员函数
- 类是抽象的，对象是具体的

什么是对象?

- 对象是类的实例
- 对象具有类定义的结构和行为
- 对象是具体的，有自己的状态和行为

面向对象的优点

- 封装：将数据和方法封装在类中，隐藏实现细节，只暴露接口
- 继承：继承父类的方法和属性，实现代码复用
- 多态：实现接口的统一，不同实现方式

C++ 类的定义、对象的创建与使用

<MINTED>

<MINTED>

C++ 类的定义

C++ 类的定义语法

- 使用 `class` 关键字定义类，类体以大括号包围，末尾有分号
- 类中可以包含**成员变量**（属性）和**成员函数**（方法）
- 成员变量：类中定义的变量，用于存储对象的状态
- 成员函数：类中定义的函数，用于操作对象的状态
- 访问权限由 `public`、`protected`、`private` 控制
- 公有成员：可以被类内部和外部访问
- 受保护成员：可以被类内部和派生类访问
- 私有成员：只能被类内部访问

C++ 对象的创建与使用

- **栈上创建对象**：直接声明类的实例，如 `ClassName obj;`，对象生命周期随作用域结束自动销毁。
- **堆上创建对象**：使用 `new` 关键字动态分配，如 `ClassName* p = new ClassName;`，需手动用 `delete p;` 释放内存。
- **成员访问**：用 `.` 运算符访问对象成员（如 `obj.func()`），用 `->` 运算符访问指针对象成员（如 `p->func()`）。
- **this 指针**：在类的成员函数内部，`this` 指向当前对象的指针，可用 `this->` 成员访问。

C++ 继承

- 基类：父类，被继承的类，基类中定义的属性和方法可以被派生类继承
- 派生类：子类，继承父类的类，在基类的基础上扩展新的属性和方法
- 继承：派生类继承基类的属性和方法，派生类可以重写基类的方法

<MINTED>

<MINTED>

C++ 多继承

<MINTED>

<MINTED>

C++ 继承的规则

- 公有继承：基类的 public 和 protected 成员在派生类中保持原样，private 成员不可访问
- 保护继承：基类的 public 和 protected 成员在派生类中变为 protected，private 成员不可访问
- 私有继承：基类的 public 和 protected 成员在派生类中变为 private，private 成员不可访问

<MINTED>

C++ 继承的规则

<MINTED>

<MINTED>

多态

- 多态：派生类可以重写基类的方法，实现不同的行为
- 虚函数：基类中定义的虚函数，派生类可以重写
- 纯虚函数：基类中定义的纯虚函数，派生类必须重写

<MINTED>

多态的作用

- 代码复用：派生类直接使用基类的属性和方法，不需要重新实现
- 接口统一：派生类和基类具有相同的接口，可以相互替换
- 扩展性：新增子类时，不需要修改父类，只需要重写子类的方法

<MINTED>

智能指针

智能指针的类型

- **std::unique_ptr** - 独占所有权，不能复制
- **std::shared_ptr** - 共享所有权，引用计数
- **std::weak_ptr** - 弱引用，不增加引用计数
- **std::auto_ptr** - 已废弃，C++17 移除

智能指针的优势

- **自动内存管理** - 避免内存泄漏
- **异常安全** - 异常时自动清理
- **RAII** - 资源获取即初始化
- **线程安全** - shared_ptr 线程安全

什么是引用计数?

- 创建对象时，引用计数为 1
- 当新的指针或者引用指向该对象时，引用计数加 1
- 当指针或者引用不再指向该对象时，引用计数减 1
- 当引用计数为 0 时，对象被销毁，资源被释放

C++ 智能指针示例

<MINTED>

<MINTED>

本章总结

C、C++

- **C 语言基础**：掌握了高效的底层编程基础，包括基本语法、控制结构、函数、指针、动态内存管理等核心概念
- **C++ 语言特性**：理解了 C++ 对 C 的面向对象扩展，掌握了类、对象、继承、多态等现代 C++ 特性。

课后任务

设计一个线性方程组求解系统，支持多种求解方法：

- 使用容器类存储矩阵和向量数据
- 使用面向对象多态实现不同的求解算法（高斯消元法、LU 分解法、雅可比迭代法、SOR 迭代法）
- 使用 Lambda 表达式实现自定义的矩阵运算和向量操作
- 使用智能指针管理动态分配的矩阵对象
- 包含输入验证和异常处理机制（如奇异矩阵检测、收敛性判断）