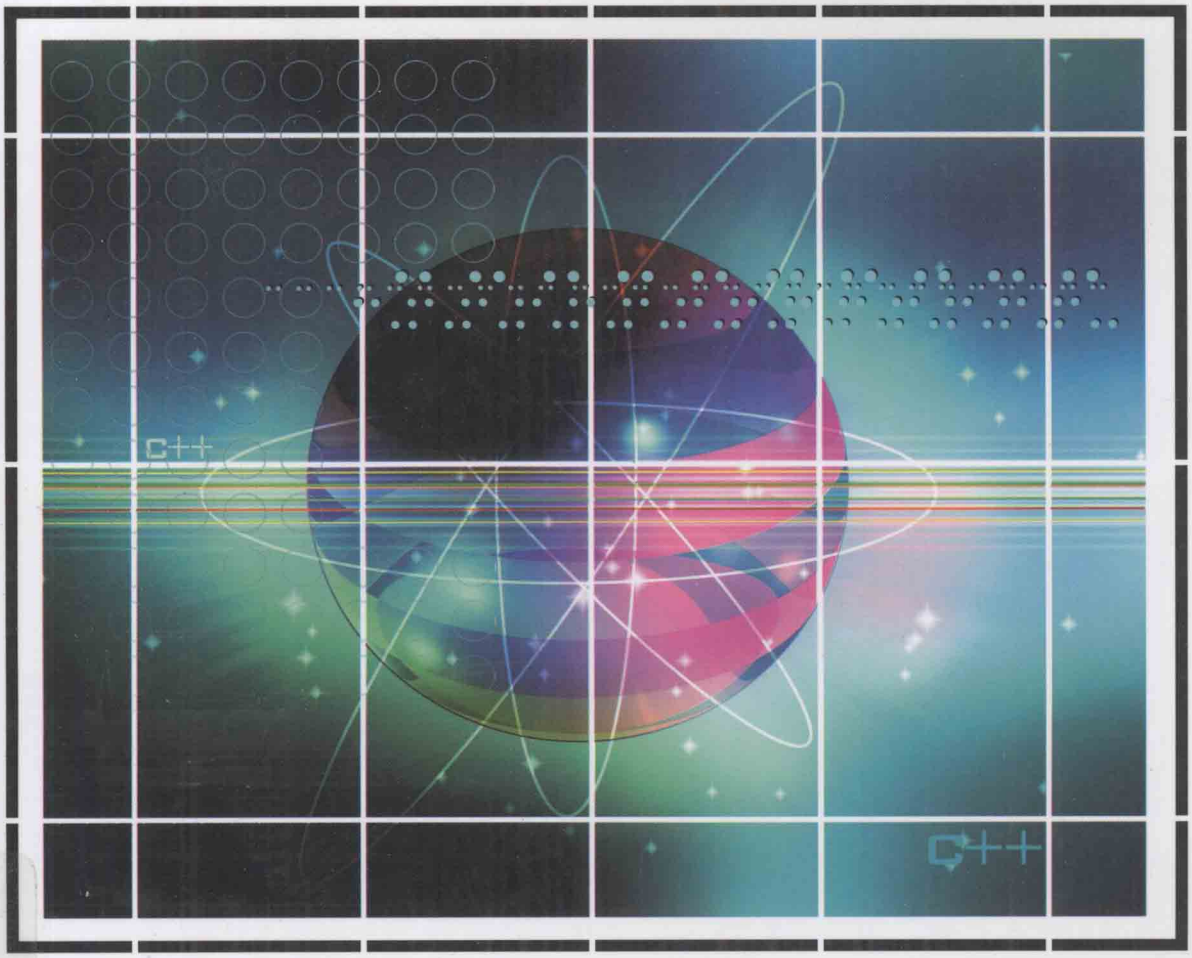
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

C++程序设计语言

李雁妮　陈　平　王献青　编著



西安电子科技大学出版社
http://www.xduph.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

C++程序设计语言

李雁妮　陈　平　王献青　编著

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书分三部分，共16章。第一部分对C++语言的基本机制，即对C++语言中用于支持面向过程与面向模块化程序设计的语言机制进行了较为准确与全面的介绍；第二部分重点介绍了C++支持面向对象与类属程序设计的各种语言机制，同时，在该部分对 C++ 的异常处理机制进行了较为详尽的介绍；第三部分对 C++标准模板库 STL 进行了简要阐述，由于程序一般都要进行字符串与输入/输出处理，因此，在该部分重点对标准类库中的 string 类和 C++的 I/O 类进行了较具体的介绍。

本书针对计算机专业的本科生编写。书中注有星号的章节为 C++ 中较深入的一些问题，在教学中可视教学时数与教学对象进行适当取舍。本书除作为本科生 C++ 程序设计的教材之外，还可供计算机或电子类相关专业的研究生或工程技术人员参考学习。

★本书配有电子教案，需要者可登录出版社网站，免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

C++程序设计语言 / 李雁妮，陈平，王献青编著.
—西安：西安电子科技大学出版社，2009.1
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-5606-2151-7
Ⅰ.C… Ⅱ.① 李… ② 陈… ③ 王… Ⅲ.C 语言—程序设计—高等学校—教材
Ⅳ.TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 175588 号

策　　划　臧延新
责任编辑　张晓燕
出版发行　西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)
电　　话　(029)88242885　88201467　邮　编　710071
网　　址　www.xduph.com　　电子邮箱　xdupfxb001@163.com
经　　销　新华书店
印刷单位　陕西华沐印刷科技有限责任公司
版　　次　2009 年 1 月第 1 版　2009 年 1 月第 1 次印刷
开　　本　787 毫米×1092 毫米　1/16　印 张 26
字　　数　618 千字
印　　数　1～4000 册
定　　价　37.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2151 - 7/TP • 1097

XDUP 2443001-1

前　言

本书作者均长期致力于C/C++语言的教学与科研工作，其中陈平教授为ISO C++语言标准化技术专家、教育部计算机专业教学指导委员会委员，本书是他及所带领的C++课程组成员在长期的教学、科研实践中所形成的智慧与成果的结晶。

C++是一种支持多种程序设计范型、优秀的通用程序设计语言。目前，国内多家出版社已陆续出版了多种C++程序设计语言教材，这些教材都各具特色，但总的来说：

(1) 已有教材内容没有完全涵盖最新的2004年CCSE(Computing Curricula-Software Engineering，计算机软件工程学科)和CSEC(China Software Engineering Curricula，中国软件工程学科)在相应课程中的知识点，部分内容缺失或深度不够。

(2) 已有教材内容大多仅立足于语言语法本身，没有将其内容提升到引导与培养学生正确、适当地使用各种语言机制的高度上，即在内容的组织与选取上对如何培养、训练学生成为一个优秀的C++程序员考虑不够。

(3) C++是支持多种程序设计范型且广泛使用的高级程序设计语言之一。大多数教材没有清楚地阐述C++支持多种程序设计范型这一特征，亦没有完整地阐述C++支持多种程序设计范型的各种语言机制，这易使读者不知或误用各种语言机制。

(4) 已有教材的内容大多缺少实际软件项目的研发成果，内容及示例显得空泛。

目前，国外有多种C++经典教材，其典型代表为B.Strostrup所编写的《C++ Programming Language》和Bruce Eckel所编写的《Thinking in C++》等。基于我国国情，上述国外原版教材并不完全适宜用作我国大多数院校本科低年级学生的C++课程教材，原因如下：

(1) 教材为英文，并具有相当的深度、难度，对国内大多数院校本科低年级学生来讲，难度太大；其翻译版亦普遍存在译文质量不高、信息损失等问题。

(2) 教材并非按CCSE和CSEC编写，且上述两本原版著作是按照全面、深入阐述C++语言特性，培养高级C++程序员、系统分析员这一宗旨而撰写的，故部分章节内容不适合作为本科生低年级学生的C++课程教材。

基于上述原因，作者在对国内外C++教材进行了大量阅读、研究、实践的基础上，根据CCSE和CSEC编写了这本适合我国国情并与软件人才培养目标接轨，能准确阐述C++各种语言特性、用法，且包含作者长期教学与科研成果的《C++程序设计语言》。

全书分三部分，共16章。第一部分对C++语言的基本机制，即对C++语言中用于支持面向过程与面向模块化程序设计的语言机制进行了较为准确与全面的介绍；第二部分重点介绍了C++支持面向对象与类属程序设计的各种语言机制，同时，在该部分对C++的异常处理机制进行了较为详尽的介绍；第三部分对C++标准模板库STL进行了简要阐述，由

于程序一般都要进行字符串与输入/输出处理，因此，在该部分重点对标准类库中的 string 类和 C++的 I/O 类进行了较具体的介绍。

本书有如下特色：

(1) 内容涵盖最新的 2004 年 CCSE 和 CSEC 在相应课程中的知识点，并从深度和广度等各方面与之要求吻合。

(2) 注重 C++ 语言支持多种程序设计范型这一特征，完整、准确地阐述了其语言的各种机制，并通过示例说明各种机制适用及不适用的场合，着重培养与训练学生设计、编写各种程序的能力。

(3) 准确地阐述各种语言机制的语法，其立足点与软件人才培养目标相吻合。

(4) 包含课程组长期以来的教学与科研成果，教材示例中加大经裁剪后的实际项目程序的比例，通过系统软件领域中的实例解释说明一些关键性的程序设计概念与技术。通过示例，向学生展示实际 C++应用程序的构建、编程方法。

本书针对计算机专业的本科生编写。书中注有星号的章节为 C++ 中较深入的一些问题，在教学中可视教学时数与教学对象进行适当取舍。本书除作为本科生 C++ 程序设计的教材之外，还可供计算机或电子类相关专业的研究生或工程技术人员参考学习。

感谢同事王黎明、邓岳，感谢西安电子科技大学软件学院 99 级学生刘志鹏和 04 级学生王晓丽、吴涛，他们对本书提出了许多宝贵的建设性意见，作者据此对全书进行了全面修正。

在本书的编著过程中，我们虽力图详尽、准确，但限于作者水平，疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编　者

2008 年 11 月

目　录

第一部分　C++语言的基本机制

第二部分　C++的抽象机制

第三部分　C++标准模板库 STL 简介

第一部分　C++ 语言的基本机制

这部分主要对 C++语言的子集 C 语言、C++语言支持面向过程及面向模块程序设计范型所提供的语言机制进行了全面、系统的介绍。

该部分所涵盖的内容如下：

第 1 章　绪论

第 2 章　C++语言概述

第 3 章　类型与声明

第 4 章　运算符与语句

第 5 章　指针、数组和结构

第 6 章　函数

第 7 章　名字空间与异常处理

第 8 章　源文件和程序

第1章　绪　　论

本章要点：

- C++ 语言的发展历史及特点；
- 学习 C++ 语言的注意事项；
- C++ 语言中一些重要的程序设计理念。

1.1　C++语言的发展历史及特点

1.1.1　C++ 语言的发展历史

C++ 语言是当今流行的、能支持多种程序设计范型(Programming Paradigm)的一种优秀的程序设计语言。

20 世纪 70 年代末，随着计算机应用的普及与深入，软件的规模及复杂性以前所未有的趋势大幅度地增长，但当时缺乏一种能准确地描述问题域与解、支持数据抽象(Abstract Data Type，ADT)、能快速开发并有效地组织与维护大型程序、支持面向对象程序设计(Object-Oriented Programming，OOP)范型的通用程序设计语言。正是在这种应用需求的强烈驱动下，1979 年 10 月，C++ 语言的第一个版本——带类的 C 应运而生。

C++ 语言自诞生之日起到发展成熟并最终走向标准化经历了约 20 年的时间。C++ 起源于 1979 年 4 月 Bjarne Stroustrup 博士在美国新泽西州 Murray Hill 贝尔实验室计算科学研究中心开始的如何将所分析的 UNIX 内核分布到局域网上这一研究工作。为了解决描述复杂系统的模块结构及模块间的通信模式问题，并试图书写事件驱动的模拟仿真程序，Bjarne Stroustrup 开始设计并实现一个带类的 C(C with class)的工作。1979 年 10 月，第一个带类的 C(称为 Cpre)的实现在 Murray Hill 贝尔实验室投入使用。1983 年 8 月第一个 C++实现走出实验室并正式投入使用，同年 12 月带类的 C 正式改名为 C++(发音为 C plus plus)。1985 年 10 月，C++ 1.0 版本(称为 Cfront Release 1.0)开始正式商业发布。同时，Bjarne Stroustrup 出版了其经典著作《The C++ Programming Language》(第 1 版)。之后，1987 年 2 月、1989 年 6 月及 1991 年 10 月，Cfront Release 1.2、Cfront Release 2.0 和 Cfront Release 3.0 相继问世。Bjarne Stroustrup 博士的《The C++ Programming Language》的第 2 版和第 3 版亦于 1991 年 6 月和 1997 年 7 月分别出版。

C++自诞生之日起便以其表达能力强、高效、支持多种程序设计范型等特点受到业界的广泛认可和欢迎。随着 C++ 语言的普及及其应用领域爆炸性地扩张，C++ 标准化问题提

到了议事日程上。1987 年 Bjarne Stroustrup 开始了 C++标准化的准备工作，1989 年 12 月，C++ 美国国家标准委员会 ANSI X3J16 组织成立，1990 年 3 月召开了第一次 ANSI X3J16 技术会议，在此会议上确立了 C++ 美国国家标准，并于同年 5 月发布了 ANSI C++ 标准化工作的基础文件《The Annotated C++ Reference Manual》。1991 年 6 月召开了第一次 C++ 国际化标准 ISO WG21 会议，1994 年 8 月 ANSI/ISO 委员会 C++ 草案登记，1995 年 4 月 ISO C++标准草案提交公共审阅，1997 年 10 月 ISO C++ 标准通过表决并被接受，至 1998 年 11 月，ISO C++ 标准(ISO/IEC 14882)被正式批准。目前采用的 C++ 标准即此标准。

1.1.2 C++ 语言的特点

C++ 语言是以 C 语言为基础，并在此基础上扩充、发展而来的。C++ 语言是 C 语言的进化版本，其名称正反映了这一点。Bjarne Stroustrup 设计并实现 C++ 的初衷是使 C++语言不仅具有像 Simula 语言管理与组织大型程序的机制，同时又兼有 C 语言的高效性与灵活性；更重要的是欲使当时大量的 C 程序和 C 库函数得以继承使用，大批优秀的 C 程序员不丢弃长期积累的 C 编程经验，只需要学习 C++ 加入的一些新特性就能快速、平滑地过渡到这种支持新的程序设计范型且表达力更强的语言。

C++ 语言不仅继承与发扬了 C 语言的优点，而且吸纳了其它众多语言的优良特性。例如，C++ 语言中的一些新特性，单行//注释来源于 BCPL's；类的概念，包括派生类及虚函数来源于 Simula 67；操作符重载及自由的变量声明来源于 Algol 68 语言；模板机制主要受 Ada 语言的启发；错误处理主要来源于 Ada、Clu 和 ML 语言。C++ 语言的一些其它机制，如多重继承、纯虚函数、名字空间等是在 C++ 语言的发展及应用过程中逐步产生的。

C++ 是支持多种程序设计范型的优秀程序设计语言之一，其主要特点如下：

(1) 以 C 作为其子集，兼取了 C 语言简洁、相对低级的特性，但摒弃掉了 C 语言中若干不安全的特性，其语言表现力远远强于 C 语言；

(2) 是一种强类型语言；

(3) 具有较高的可移植性和可维护性；

(4) 适合于大部分系统程序及应用程序的开发；

(5) 是一种不限定应用领域的通用程序设计语言；

(6) 是一种能支持面向过程、面向模块、面向对象和类属程序设计范型的混合型程序设计语言。

1.2 学习 C++ 语言的注意事项

1.2.1 如何学习 C++

C++ 语言的发明及实现者 Bjarne Stroustrup 博士告诫我们："在学习 C++语言的时候，最重要的是应把注意力集中在其概念方面，而不是陷入只关注语言技术细节的误区。学习一种程序设计语言的目的是成为一个好的程序员，在设计与实现新的系统、维护已有系统的过程中具有更高的效率。因此，对于程序设计技术和软件设计技术的鉴赏，要比理解语

言的细节重要得多。随着时间的延伸和实践的增加，这些语言的细节将自然会被理解的。”

Bjarne Stroustrup 博士上述名言为我们如何学习及学好 C++ 语言指明了道路。在学习 C++ 语言的时候，应注意如下几点：

(1) 学习 C++ 语言的目的是要将它作为一种工具很好地应用于软件系统的开发与维护，而不能仅限于了解 C++ 语言的很多语法细节，却不去关注如何正确地使用它。

(2) 程序设计风格或称程序设计范型(Programming Styles/Paradigm)通常由思维方式和语言的支持机制所决定，而不同的应用领域要求的思维方式不同，因而程序设计风格或范型不同，对语言的支持要求也不同。因此应切记：C++ 语言是支持多种程序设计风格/范型的一种通用的、混合性程序设计语言。在学习及使用该语言时一定要注意其各种语言机制到底支持哪种程序设计风格/范型，以避免对 C++ 语言机制的乱用与误用。

(3) C++ 同时支持多种程序设计风格/范型的能力，使其应用领域很宽，但其支持的语言机制绝对不是“放之四海而皆准”的。因此，在学习 C++ 时，一定要注意各种语言机制适用及不适用的场合。

(4) 学习 C++ 语言的途径不是唯一的，学习方法及门坎的高低亦因人而异，这些都与学习者已有的基础和预定的目标有关。我们期望学习者是为了更好地进行程序设计和软件设计而学习 C++ 的。

(5) C++是一个相对复杂的语言，但不需要在掌握了这种语言的所有语言特性和技术内涵之后才开始真正使用它。C++ 可以在多个不同的专业层次上使用，所以读者可以通过实践循序渐进地学习与掌握 C++。

(6) 跳过 C 语言的学习而直接学习 C++ 语言是值得提倡的一种学习方法。C++ 更安全，表现力更强，又减少了对低层技术的关注要求，因此比 C 语言更容易使用与掌握。有了 C 语言的基础再学 C++ 语言，虽然入门较快，但实践证明最终很难摆脱 C 语言的思维方式，也很难从用 C++ 写出 C 程序这一误区中走出来。

(7) 在学习过程中，读者还可通过多种途径学习与实践 C++，如利用一些可用的工具、程序库和软件开发环境，通过大量的教科书、手册、杂志、BBS、邮件组、会议和课程等学习 C++ 并得到其语言的最新发展信息。

最后，至关重要的是在学习的过程中要大量地阅读优秀的 C++ 源代码，从中吸取经验，获取灵感。学习中一定要加大实践力度，实践出真知！只有通过阅读—模仿—实践—再实践的途径，才能深入学习和掌握 C++。

1.2.2　如何使用本教材

本书的内容共分为三大部分。第一部分共计 8 章，重点阐述 C++ 语言的基本机制。这一部分阐述了 C++ 语言的子集 C 语言的相关内容及 C++ 为支持过程程序设计、模块化程序设计范型而加入的一些语言新特性，如函数重载(亦称函数过载)、异常处理、名字空间等。第二部分共计 5 章，重点阐述了 C++ 支持面向对象、类属/通用程序设计范型的各种语言机制，该部分为本书的重点。由于对一种语言的掌握与运用很大程度上取决于学习者对其类库的熟悉与掌握，因而本书在第三部分对 C++ 标准输入/输出流类库、string 类进行了介绍，最后，对标准模板库(Standard Template Library，STL)进行了概述。

本书力图从基本概念出发，进而深入阐述 C++ 语言支持各种程序设计范型的各种语言机制。书中短小的程序用以阐明语言的语法，各章中的应用示例用于展现 C++ 语言各种机制的应用场合、应用技巧及 C++ 程序的组织架构方法。另外，在第一部分采用一个小型应用程序“小型桌面计算器的设计与实现”向读者分别展示如何利用 C++ 语言所提供的语言机制进行面向过程与面向模块的程序设计方法；在第二部分采用另外几个小型应用程序，如“单向链表的设计与实现”、“类模板 SortedSet 的设计与实现”及“函数模板 sort 的设计与实现”向读者展示 C++ 的面向对象及类属程序设计方法。希望读者在学习过程中认真研读书中的范例，从中启发思路，进而设计出更加优秀的实用程序。

1.3 C++ 语言中一些重要的程序设计理念

如前所述，C++ 语言是从 C 语言演化而来的，但其程序设计理念较 C 语言而言，很多方面已发生了质的飞跃。C++ 语言仍像其它程序设计语言一样内置了一些基本的数据类型，如 int、float、char 等，这些基本类型对应着现实世界中的整数、实数和字符等概念，但大多数应用中还普遍存在着一些概念，它们既不容易被表示成某个基本类型(即语言提供的内置类型(Build-in/Primitive Type))，也不容易被表示成某个没有相关数据的函数，如现实中人、汽车等概念就无法用 C++ 的基本类型准确地表示。因此，C++ 中提供了**类(Class)**来表示应用中这样的概念。类是 C++ 语言的第一概念，它实现了信息隐藏(Information Hiding)与封装(Encapsulation)。一个类是应用领域中一个概念的具体表示与抽象。

现实中，任何概念都不可能存在于真空之中，总是存在着一些由相关概念组成的簇(Cluster)。因此，在程序中组织(表示不同概念的那些)类之间的关系，经常比用单个的类来定义一个概念要困难得多。组织与管理这些复杂概念的最强有力的工具之一就是层次结构(Hierarchy)，即将相关的一组概念组织成一棵树(Tree)，使得最一般化的概念对应于树的根。在 C++ 中，**派生类(Derived Class)**就用于表示这样的结构。例如，应用中有一组相关的概念：人、雇员、学生、经理、本科生和研究生，这组相关的概念可用 C++ 提供的继承和派生类机制将其组织起来，其共性抽象到树的上层，下层对应着特性。这种组织方式使得对上层的修改自动波及到下层，而对下层的修改不会影响到上层。另外，这种程序概念的组织方式不仅大大提高了软件的重用(Reuse)，而且极大地增强了软件的可扩充性与可维护性。上述相关类的组织层次图如图 1.1 所示。

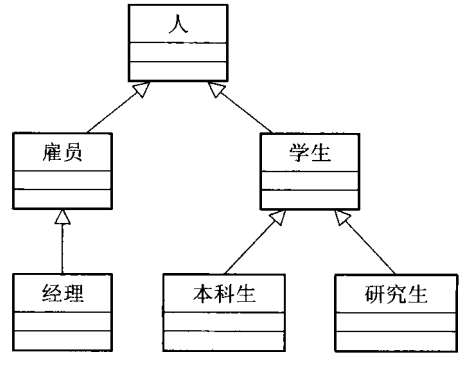


图 1.1 相关类层次图

有时，在程序组织上，即使是用有向无环图(Directed Acyclic Graph)也不足以组织一个程序中的概念，因为有些概念看上去是固有地相互依赖着。这种环形的依赖关系在现实生活中比比皆是，如母鸡与鸡蛋之间的关系即如此，如图 1.2 所示。针对这种环形依赖，程序设计时应当试图将这样的环形依赖限制在程序的局部，以免它们影响到整个程序的结构。

化解依赖图最好的方法之一，就是明确地分离**接口(Interface)**与**实现(Implementation)**，C++ 的**抽象类(Abstract Class)**就是实现这一功能的工具。

在 C++ 中，表现概念之间共性的另一种方式是**模板(Template)**。C++ 中提供了类模板与函数模板机制。一个类/函数模板阐明了与一组类/函数有关的共同特征，模板允许将类型参数带入这组类/函数模板中，使所生成的每个模板类/模板函数具有各自独特的特性。例如，应用中有一组类：一队军人、一队大雁和一队学生，它们有其共性及个性，利用 C++ 的类模板机制我们可自动生成这些类。类模板及所生成的模板类如图 1.3～图 1.7 所示。

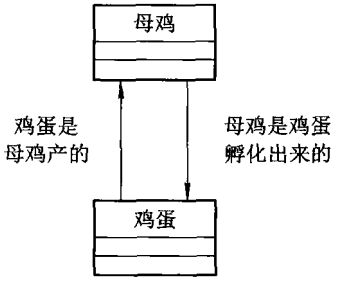


图 1.2　母鸡与鸡蛋之间的环形依赖关系图

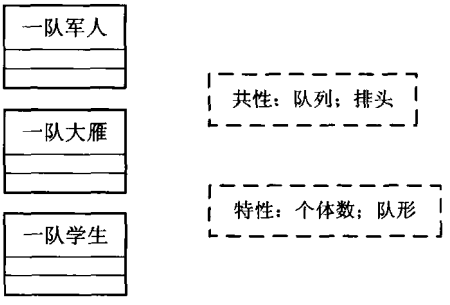


图 1.3　一队军人、一队大雁和一队学生类的共性与个性图

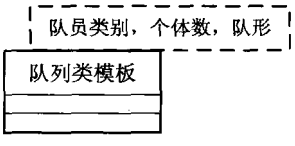


图 1.4　队列型类模板

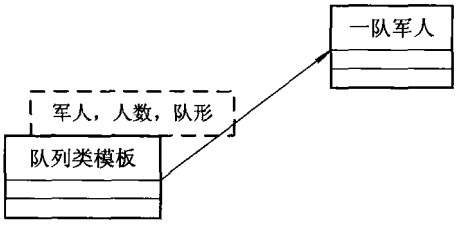


图 1.5　由队列类模板生成的一队军人模板类

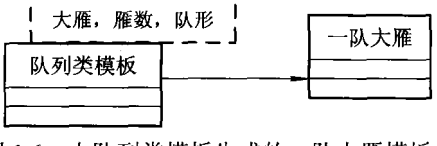


图 1.6　由队列类模板生成的一队大雁模板类

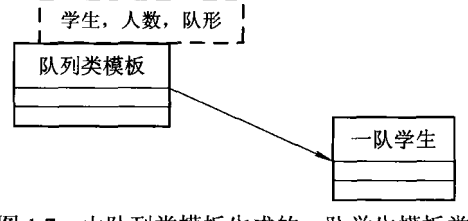


图 1.7　由队列类模板生成的一队学生模板类

程序设计中，我们抽取一队军人、一队大雁和一队学生类的共性，将其表达成队列型类模板，用其参数：队员类别、个体数和队形来表达其特性。当我们以相应的实参代入此类模板时，即可生成相应的具体模板类。

C++ 语言为支持面向过程、面向模块，特别是面向对象及类属程序设计提供了各种语言机制。当今，面向对象(Object-Oriented，OO)技术已是软件业公认的主流开发技术，上述 C++ 中这些重要的程序设计理念：类、派生类、继承、抽象类、接口与实现的分离及模板等重要的面向对象理念，正是 C++ 顺应应用的需求而产生的，又在应用中得到进一步的完善与发展。

学习 C++ 的根本目的是要成为一名优秀的 C++程序员，更高效地用 C++ 开发新系统和维护老系统。因此，上述 C++ 中这些重要的程序设计理念应成为我们学习 C++ 语言及进行 C++ 程序设计的灵魂与法宝。随着学习的深入，读者会逐渐地认识到：C++不仅是一种语言，更是一种编程思想，在我们学习与实践的历程中，它会伴随着我们一起成长！

小 结

C++ 语言是顺应应用的需求从 C 语言演化而来的，它是一种支持面向过程、面向模块、面向对象和类属程序设计范型的混合型语言。

学习与掌握 C++ 语言的根本目的是要成为一名优秀的 C++ 程序员，所以在学习 C++ 语言时，千万不要陷于语言语法细节的误区，应将注意力集中在 C++ 程序的组织与各语言机制的正确使用上。C++ 中为支持各种程序设计范型，特别是面向对象程序设计范型所提供的一些重要的语言机制与程序设计思想(如类、类的层次化组织、接口与实现的分离、模板等)应成为我们学习、使用 C++ 的重点，及进行 C++ 程序设计的灵魂。

练习题

1. 简述 C++语言的特点。
2. C++语言支持哪几种程序设计范型？
3. C++中有哪些重要的程序设计理念？