



第1章

导论

我国建筑业在过去四十多年间得到长足发展,但仍存在生产效率低下、质量安全事故频发、信息化程度不高等问题。信息化、智能化时代的到来为建筑业生产方式的变革提供了机遇,因此,探寻工程建造过程的智能化管理具有重要意义。

1.1 背景

建筑业一直提倡加大科技投入、提高信息化管理水平,但在过去很长一段时间,建筑业信息化的发展较为缓慢。近几年来,随着人工智能、BIM 技术、云计算等技术手段的迅猛发展,建筑业信息化有了飞跃式发展,特别是应用于施工过程中的信息技术手段更加多样化,应用功能更加强大,但仍有较大的发展空间。我国政府在助推建筑业信息化、工业化发展中制定了一系列的相关政策,为建筑业的更新升级提供了政策保障。

1.1.1 建筑业发展现状

1. 建筑业生产效率长期落后于科学技术发展

从 19 世纪 40 年代至今(图 1.1),农业的劳动生产率增长了 1512%,土地的规模化组合和种植机械化配置使得农作物产量大大提高;制造业的劳动生产率增长了 760%,主要进步是全新的模块化和标准化设计、全流程自动化生产;而建筑业的劳动生产率增长仅有 6%,虽然在技术能力、生产方法和生产规模上有一定程度的进步,但与其他行业相比建筑业生产效率总体上长期落后于科学技术发展。2017 年,麦肯锡全球研究院完成的《重塑建筑业:迈向高生产率之路》(*Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity*)的报告中也同样说明了该问题,报告对全球建筑业生产效率问题进行了阐述(图 1.2 是基于 41 个国家的样本,占全球 GDP 的 96%),全球建筑业劳动生产率增长仅 1%,远低于制造业的 3.6%和各个行业平均值 2.7%,长期落后于其他行业以及世界整体经济水平。

2022 年,按建筑业总产值计算的劳动生产率(图 1.3),达到 493526 元/人,比 2021 年增长 4.30%,但劳动生产率的增速比 2021 年降低 7.60%。建筑业劳动生产率低是各国普遍存在的问题,中国建筑业从整体上看,仍然是劳动力密集的行业,未来劳动生产率也并不会太高,如何将科学技术的发展应用到建筑业并有效地提高劳动生产率值得研究。



图 1.1 各行业劳动生产变迁

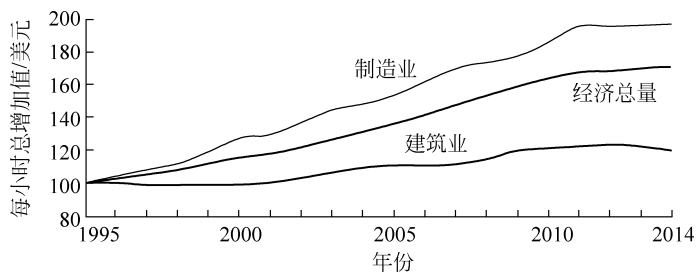


图 1.2 建筑业劳动生产率的增长落后于制造业生产率和经济总量的增长

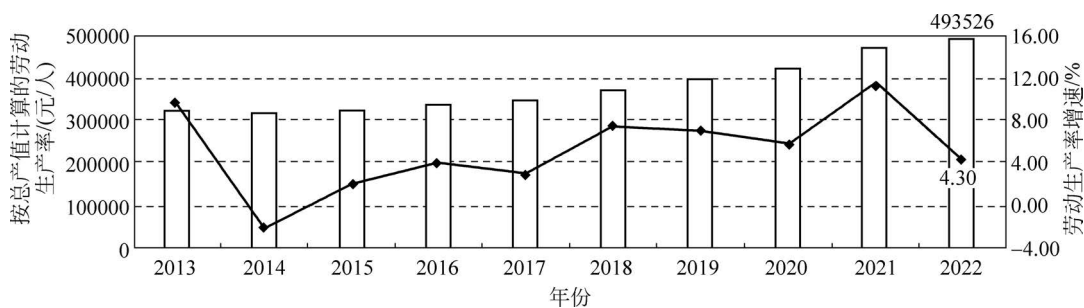


图 1.3 按建筑业总产值计算的建筑业劳动生产率及增速

2. 建筑业安全与质量事故频发

质量事故和安全事故在工程项目中经常出现。据住房和城乡建设部统计,2017—2019年,全国建筑施工安全生产事故共 2133 起,死亡 2478 人;其中较大以上事故 68 起,死亡 283 人。对相关数据进行统计分析发现,2017—2019 年全国建筑施工安全生产事故数量占比较高的是:高处坠落占 52.41%、物体打击占 14.96%、土方基坑坍塌占 8.72%、起重机械伤害占 6.61%、其他机械伤害占 4.45%;死亡人数占比较高的是:高处坠落占 46.93%、土

方基坑坍塌占 14.73%、物体打击占 13.24%、起重机械伤害占 7.99%、其他机械伤害占 4.00%。2017—2019 年全国建筑施工较大以上安全生产事故数量占比较高的是：土方基坑坍塌占 51.47%、起重机械伤害占 19.12%、高处坠落占 11.76%、中毒和窒息占 7.35%；死亡人数占比较高的是：土方基坑坍塌占 59.72%、起重机械伤害占 17.67%、高处坠落占 8.48%、中毒和窒息占 5.65%。

究其原因,其一是建筑施工的标准化程度不高,容易受到人为因素影响而发生工程质量事故；其二是我国建筑业缺乏产业工人,工人主要为农民工,整体素质有待提高,容易因安全意识缺乏、疏忽大意等导致工程安全事故的发生；其三是人工智能、安全预警等技术尚未得到广泛应用,质量安全事故等难以提前预警。

3. 建筑业信息化程度不高

我国建筑业信息化和科技化程度一直以来都很低,信息化和数字化存在很大的关联,信息化是数字化的基础,麦肯锡全球研究院发布文章《建筑业数字化未来之设想》(Imagining Construction's Digital Future)显示(图 1.4),从全球各行业对比来看,建筑行业数字化投入非常低,仅高于农业,在所有行业中排名倒数第二。建筑业数字化投入水平仍处于较低水平,存在较大成长空间。

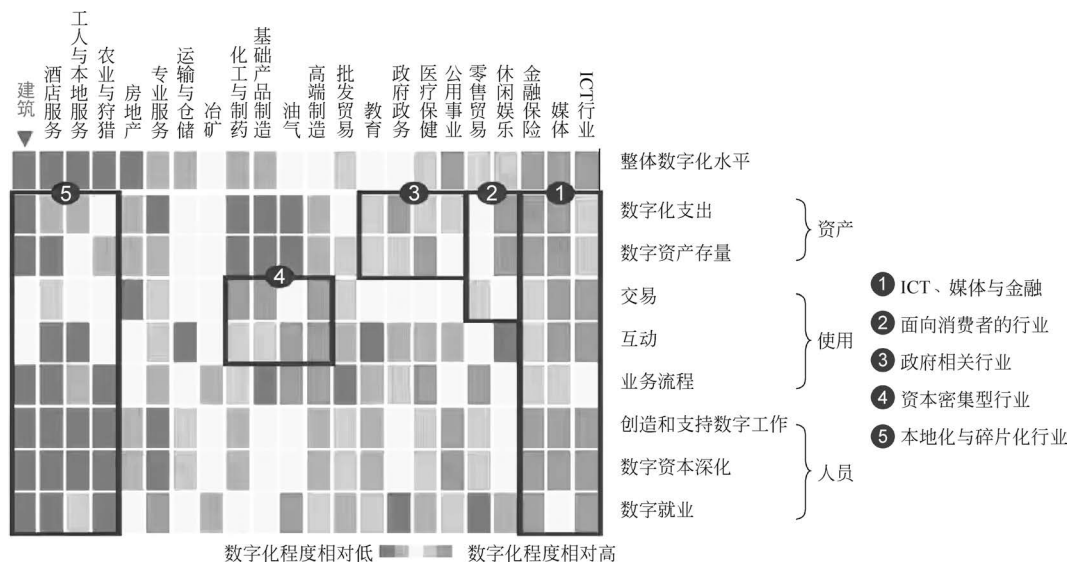


图 1.4 建筑行业数字化现状

建筑业信息化渗透率是衡量建筑业信息化水平的主要指标,表示建筑业信息化投入占总产值的比重。中国建筑业信息化水平相比发达国家建筑业信息化水平仍有差距,如图 1.5 所示,2021 年行业渗透率约为 0.13%,远低于发达国家 1% 的平均水平,同时低于国际平均水平 0.30%。

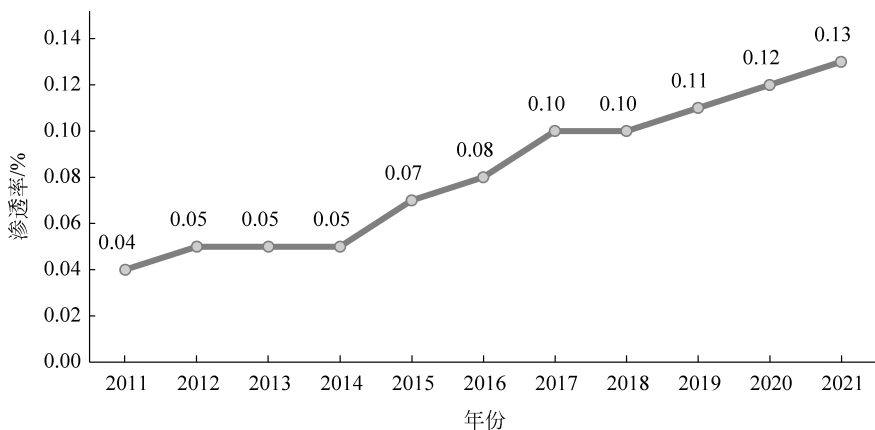


图 1.5 2011—2021 年中国建筑业信息化渗透率

1.1.2 政策引导

我国政府已经意识到建筑业未来必然走信息化、工业化、科技化的路子,政府先后出台多项推进建筑业信息化发展的政策。《2016—2020 年建筑业信息化发展纲要》要求:“全面提高建筑业信息化水平,着力增强 BIM、大数据、智能化、移动通信、云计算、物联网等信息技术集成应用能力,建筑业数字化、网络化、智能化取得突破性进展,初步建成一体化行业监管和服务平台,数据资源利用水平和信息服务能力明显提升,形成一批具有较强信息技术创新能力和信息化应用达到国际先进水平的建筑企业及具有关键自主知识产权的建筑业信息技术企业。”2020 年 7 月住房和城乡建设部等 13 部门联合印发了《住房和城乡建设部等部门关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》(建市〔2020〕60 号),明确提出了推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导思想、基本原则、发展目标、重点任务和保障措施。这些政策的推出有助于推动工程建造的智能化管理。随着工业化、数字化、智能建造等相关政策的出台,以及建筑业信息化建设的不断深入,我国的建筑业已经进入以智能建造为核心包括工程建造智能化管理的一个全新的发展时期。

1.2 工程建造智能化管理的概念与特征

1.2.1 工程建造智能化管理的概念

智能化管理是指将信息技术、人工智能技术等赋能管理,提升管理效果的一种方式。工程建造智能化管理是指在工程建造过程中,充分运用信息化技术、互联网、人工智能、大数据、云平台对项目建造中投资、进度、质量、安全、环境等进行高效管理的过程。工程建造智能化管理能够满足科学管理要求,优化管理方式,实现实时智能管控,促进工程建造过程中管理效果的提升。

1.2.2 工程建造智能化管理的特征

1. 生产的智能化

通过 BIM、互联网、物联网等信息技术的运用,可以实现生产过程中调配的智能化,施工操作的部分智能化。在生产过程中,减少对人的依赖,更多地通过机器指令进行智能化操作,实现自动化生产。

2. 决策的智能化

项目建造过程中会产生很多的信息,运用信息技术软件将生产过程中涉及的大量数据,结合以往的经验,进行综合决策,使决策更具有智能化,达到提高决策的准确性的目的。

3. 生产质量与效率的双提升

工程建造的智能化管理通过物联网及人工智能技术,实现建造生产管理的流程化、标准化和智能化,较大程度地提高建造生产质量及施工生产效率。

4. 生产管理的集成化与协同化

智能化管理在现场管理时会运用统一的流程及标准,智能化的监控能够实现管理的集成化,所有参与单位的协同性更为明显,能够更有效地提升工作质量,使协同作业的能力更强。



第2章

工程建造智能化管理总体方案

工程建造智能化管理的实现是建立在人与机器、技术与管理、信息与数据的有机融合之上,依托智能化管理系统实现管理的智能化。工程建造智能化管理系统可根据实际需要设计架构层次,系统一般包括进度管理、成本管理、质量管理、安全管理、环境管理、合同管理、信息管理等功能。

2.1 工程建造智能化管理的总体架构

工程建造智能化管理系统是为实现“工程建造智能化管理”理念而开发设计的模块化、集成化的计算机应用系统,是支持对人和物全面感知、施工技术全面智能、工作互通互联、信息协同共享、决策科学分析、风险智能预控的工程建造智能化管理系统,目的在于变被动“监督”为主动“监控”。

2.1.1 属性分析

为了研究工程建造智能化管理系统的架构模式,必须分析和界定工程建造智能化管理系统的学科范畴和属性。简单来讲,“工程建造智能化管理”服务于建设工程项目施工现场,是基于建设工程项目管理学科、信息管理系统和计算机学科三者交叉整合的理念,如图 2.1 所示。

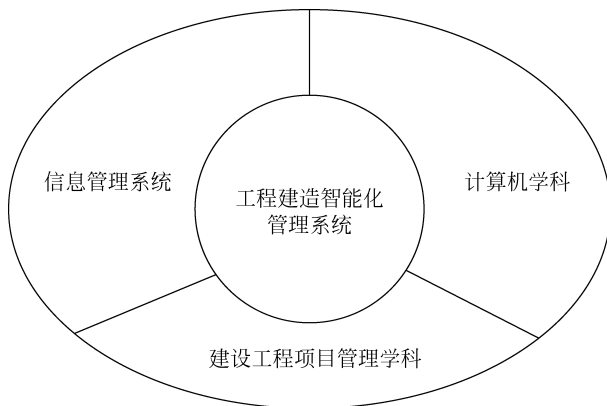


图 2.1 工程建造智能化管理系统的交叉学科示意

1. 建设工程项目管理范畴

建设工程项目是为完成依法立项的新建、扩建、改建工程而进行的有起止日期的、达到规定要求的一组由相互关联的受控活动组成的特定过程,包括决策、设计准备、设计、施工、动用前准备、保修等阶段,如图 2.2 所示。

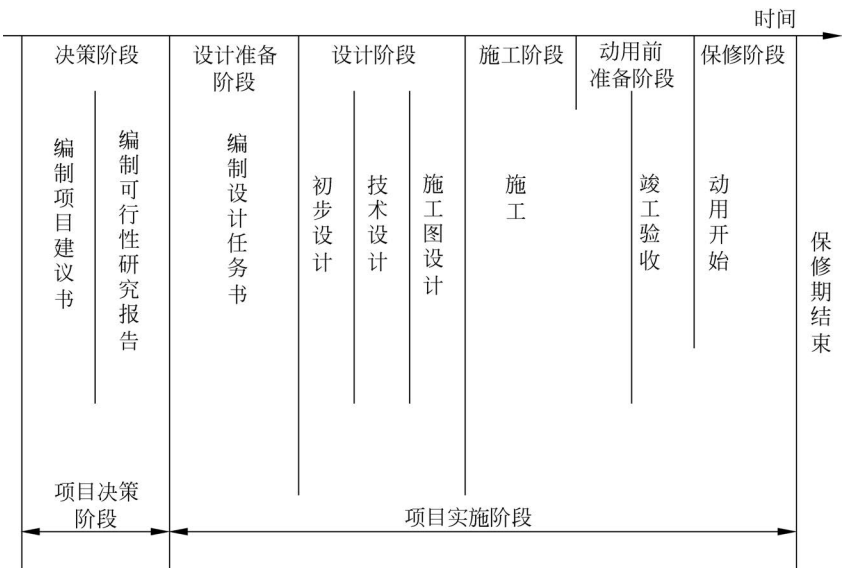


图 2.2 建设工程项目的阶段组成

建设工程项目管理是运用系统的理论和方法,对建设工程项目进行的计划、组织、指挥、协调和控制等专业化活动。其内涵参见图 2.3。从过程视角看,工程管理涵盖项目前期策划管理(development management,DM)、项目实施期项目管理(project management,PM)、项目试用期设施管理(facility management,FM)。此外,项目管理涉及众多参与单位,包括投资方、开发方、设计方、施工方、供货方等,需要对这些参与单位进行协调管理。

2. 信息管理范畴

信息管理是人类为有效地开发和利用信息资源,以现代信息技术为手段,对信息资源进行计划、组织、领导和控制的社会活动,是人们收集、加工、输入和输出信息行为的总称。简单地说,信息管理就是人对信息资源和信息活动的管理,包括信息收集、信息传输、信息加工和信息储存。

建设工程项目的信息管理是通过对各个系统、各项工作和各种数据的管理,能方便和有效地获取、存储、存档、处理和交流项目的信息,其目的是通过有效的项目信息传输的组织和控制为项目建设提供增值服务。图 2.4 展示了按照信息的内容属性划分的建设工程项目的信息类别。

3. 计算机范畴

多层分布式体系结构是计算机学科的重要概念,泛指 3 层或 3 层以上的多层软件系统

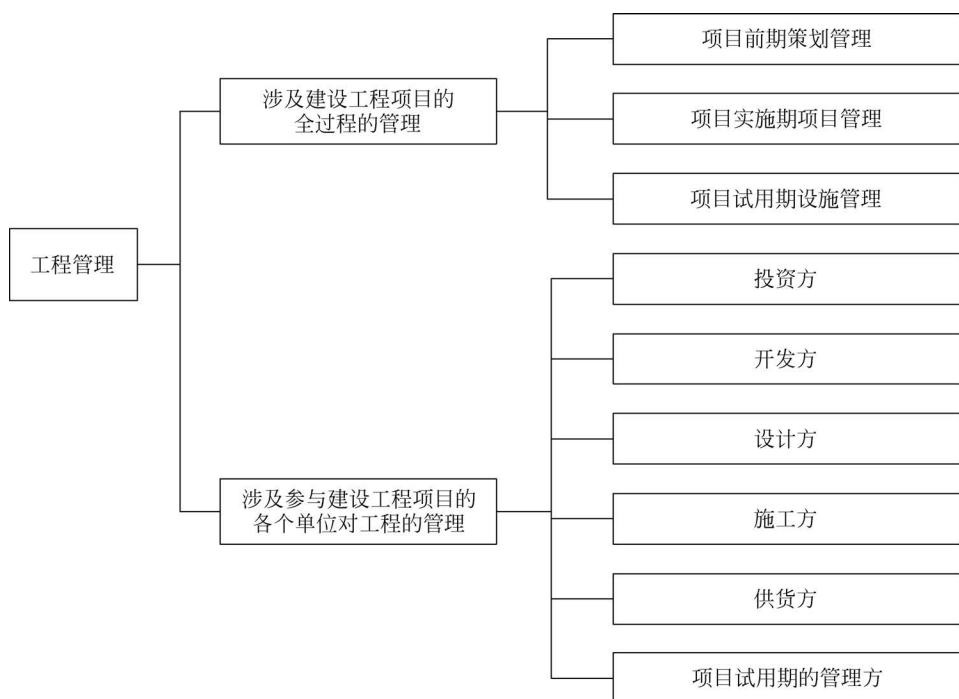


图 2.3 建设工程项目管理的内涵

设计模型,它将数据库访问分布在一个或多个中间层。典型的多层分布式系统可划分为 3 个层次,分别为客户端(表现层)、应用服务层(业务层)和数据服务层(数据层)。这种体系结构中,客户机只存放表现层软件,应用逻辑包括事务处理、监控、信息排队、Web 服务等采用专门的中间件服务器,后台是数据库,系统资源被统一管理和使用,客户程序与数据库的连接被中间层屏蔽,客户程序只能通过中间层间接地访问数据库。中间层可能运行在不同于客户机的其他机器上,经过合理的任务划分与部署后,使整个系统的工作负载更趋均衡,从而提高整个系统的运行效率。

传统的客户机/服务器(C/S)体系结构又称两层模型,是由客户应用程序直接处理对数据库的访问。因而每一台运行客户应用程序的客户机都必须安装数据库驱动程序,增加了系统安装与维护的工作量。同时,数据库由众多客户程序直接访问,导致数据的完整性与安全性难以维护。多层分布式系统克服了传统的两层模式的许多缺点,其主要特点如下:

(1) 安全。中间层隔离了客户直接对数据服务器的访问,保护了数据库的安全。

(2) 稳定。中间层缓冲了客户端与数据库的实际连接,使数据库的实际连接数量远小于客户端用量,能够在一台服务器故障的情况下,透明地把客户端工作转移到其他具有同样业务功能的服务器上。

(3) 易维护。由于业务逻辑在中间服务器,当业务规则变化后,客户端程序基本不改动。

(4) 快速响应。通过负载均衡以及中间层缓存数据能力,可以提高对客户端的响应速度。

(5) 系统扩展灵活。基于多层分布体系,当业务增大时,可以在中间层部署更多的应用



图 2.4 建设工程项目的信息分类

服务器,提高对客户端的响应,而所有变化对客户端透明。

据统计,一栋楼在设计施工阶段大约能产生容量大小为 10TB(1TB=1024GB)的数据,如果到了运维阶段,数据量还会增大。因此,工程建造智能化管理系统在开发设计过程中必须考虑到施工现场大数据存储、传输、分析、链接的问题,形成数据处理能力好、维护性高、安全性强的多层分布式体系结构。

2.1.2 架构的相关理念

本节将从程序设计角度,利用面向对象的编程思想,分析工程建造智能化管理的架构原则、架构的开发目标、架构分类、架构视图和架构分层。

1. 面向对象编程简介

面向对象(object oriented,OO)是计算机界关心的重点,它是 20 世纪 90 年代软件开发方法的主流。面向对象的概念和应用已超越了程序设计和软件开发,扩展到很宽的范围,如数据库系统、交互式界面、应用结构、应用平台、分布式系统、网络管理结构、计算机辅助设计(CAD)技术、人工智能等领域。

面向对象编程(object oriented programming, OOP)是一种方法论而不是一种具体的编程语言。不同编程语言在实现 OOP 过程中存在很大差异。如 Java、Delphi 等不支持直接多继承,必须以接口的方式实现间接多继承。而 Python 可支持直接多继承,并通过深度搜索或广度搜索两种方式判断被调用的基类。面向对象编程有以下四大基本特征。

(1) 抽象。提取现实世界中某事物的关键特性,为该事物构建模型的过程。对同一事物在不同需求下,需要提取的特性可能不一样。得到的抽象模型中一般包含属性(数据)和操作(行为)。这个抽象模型称为类,对类进行实例化得到对象。

(2) 封装。封装可以使类具有独立性和隔离性,保证类的高内聚,只暴露给类外部或者子类必需的属性和操作。类封装的实现依赖类的修饰符(public、protected 和 private 等)。

(3) 继承。对现有类的一种复用机制。一个类如果继承现有的类,则这个类将拥有被继承类的所有非私有特性(属性和操作)。这里指的继承包含类的继承和接口的实现。

(4) 多态。多态是在继承的基础上实现的。多态包括继承、重写和基类引用指向子类对象三个要素。基类引用指向不同的子类对象时,调用相同的方法,呈现出不同的行为。多态可以分成编译时多态和运行时多态。

工程建造智能化管理系统作为多层分布式体系的软件结构,建议采用面向对象的开发模式,以达到表 2.1 所列的四大优点。

表 2.1 工程建造智能化管理系统采用面向对象开发模式的优点

优 点	描 述
易维护	采用面向对象思想设计的结构,可读性高,由于继承的存在,即使改变需求,维护也只是在局部模块,所以维护起来非常方便、成本较低
质量高	设计时,可重用现有的,或在以前项目的领域中已被测试过的类,使系统满足业务需求并具有较高质量
效率高	软件开发时,根据设计需要对现实世界中的事物进行抽象,产生类。使用这样的方法解决问题,接近于日常生活和自然的思考方式,势必提高软件开发的效率和质量
易扩展	由于继承、封装、多态等特性,可以设计出高内聚、低耦合的系统结构,使得系统更灵活、更容易扩展,而且成本较低

2. 架构原则

应用面向对象的编程思想,在一般的软件系统开发阶段,通常要遵守一定的架构原则。

(1) 单一职责原则。对于一个类而言,应该仅有一个引起它变化的原因。

(2) 开放封闭原则。软件实体,如类、模块与函数,对于扩展应该是开放的,但对于修改应该是封闭的,即可以去扩展类,但不能去修改类。

(3) 里氏替换原则。使用基类的指针或引用的函数,必须是在不知情的情况下,能够使用派生类的对象,即基类能够替换子类,但子类不一定能替换基类。

(4) 最少知识原则。尽量减少对象之间的交互,从而减少类之间的耦合。简言之,为低耦合、高内聚。

(5) 接口隔离原则。两个类之间的依赖性,应该依赖于尽可能小的接口。

(6) 依赖倒置原则。高层模块不应该依赖于低层模块,它们应该依赖于抽象。抽象不