安全技术经典译丛

SQL注入攻击与防御（第2版）

SQL Injection Attacks and Defense, Second Edition

[美] Justin Clarke 著

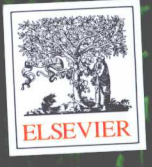
施宏斌 叶愫 译

上一版荣获2009 Bejtlich最佳图书奖

理解、发现、利用和防御SQL注入攻击的最佳参考

融入最新的SQL注入研究成果，涵盖丰富的示例和详尽分析

适用于Oracle、SQL Server、MySQL、PostgreSQL等数据库平台



清华大学出版社

安全技术经典译丛

SQL 注入攻击与防御

(第 2 版)

[美] Justin Clarke 著

施宏斌 叶愫 译

清华大学出版社

北 京

SQL Injection Attacks and Defense, Second Edition
Justin Clarke
ISBN：978-1-59749-963-7

图书在版编目(CIP)数据

SQL 注入攻击与防御：第 2 版/(美)克拉克(Clarke, J.) 著；施宏斌，叶愫 译.
—北京：清华大学出版社，2013.10
(安全技术经典译丛)
书名原文：SQL Injection Attacks and Defense, Second Edition
ISBN 978-7-302-34005-8
Ⅰ. ①S…　Ⅱ. ①克…　②施…　③叶…　Ⅲ. ①关系数据库系统　Ⅳ. ①TP311.138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 228789 号

责任编辑：王　军　李维杰
装帧设计：牛静敏
责任校对：成凤进
责任印制：李红英

出版发行：清华大学出版社
网　　址：http://www.tup.com.cn，http://www.wqbook.com
地　　址：北京清华大学学研大厦 A 座　　邮　　编：100084
社 总 机：010-62770175　　邮　　购：010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 刷 者：清华大学印刷厂
装 订 者：北京市密云县京文制本装订厂
经　　销：全国新华书店
开　　本：185mm×260mm　　**印　　张**：27.5　　**字　　数**：704 千字
版　　次：2010 年 6 月第 1 版　2013 年 10 月第 2 版　　**印　　次**：2013 年 10 月第1 次印刷
印　　数：1～4000
定　　价：59.80 元

产品编号：051219-01

作者简介

Justin Clarke 是 Gotham Digital Science 公司的共同创办人和总监，Gotham Digital Science 是一家安全顾问公司，为客户提供识别、预防和管理安全风险的服务。在网络安全测试和软件领域，他有 15 年以上的工作经验。他还为美国、英国和新西兰等地的大型金融、零售和技术客户提供软件服务。

Justin 是很多计算机安全书籍的特约撰稿人，也是很多安全会议的演讲嘉宾和项目研究者，包括 Black Hat、EuSecWest、OSCON、ISACA、RSA、SANS、OWASP 和 British Computer Society。他是开源的 SQL 盲注漏洞利用工具 SQLBrute 的作者，还是 OWASP 在伦敦地区的负责人。

Justin 具有新西兰 Canterbury 大学计算机科学学士学位，还具有战略人力资源管理与会计(Strategic Human Resources Management and Accounting)专业的研究生文凭。或许这些学位对他都很有用。

编写者简介

Rodrigo Marcos Alvarez(CREST 顾问、MSc、BSc、CISSP、CNNA、OPST、MCP)是业界领先的渗透测试公司 SECFORCE 的技术总监。在不领导技术团队时，Rodrigo 还喜欢积极地参与安全评估的交付工作，并亲自动手编写工具。他还致力于研究新的黑客技术。

Rodrigo 是 OWASP 项目的投稿人，也是一名安全技术的研究者。他对通过模糊测试(fuzzing test)分析网络协议特别感兴趣。在其他项目中，他发布了一款协议无关的 GUI 模糊器 TAOF，还有一款可以在运行时对 TCP/UDP 代理的网络流量进行模糊处理的工具proxyfuzz。Rodrigo 还在 Web 安全领域做出了不少贡献，他发布了 bsishell——一个交互式 SQL 盲注的 Python shell，此外他还开发了 TCP socket 重用攻击技术。

Kevvie Fowler(GCFA Gold、CISSP、MCTS、MCDBA、MCSD、MCSE)领导着 TELUS 安全智能分析项目，他提出了高级事件分析和主动智能技术，以保护客户免遭现在和新兴的安全威胁。

他还是安全研究和取证服务公司 Ringzero 的创建者和首席顾问。Kevvie 最近致力于数据库取证、rootkit 和原生加密缺陷等方面的研究。他出席了很多行业会议，包括 Black Hat、SecTor 和 OWASP AppSec Asia。

Kevvie 是 *SQL Server Forensic Analysis* 一书的作者，他还是多本信息安全和取证技术书籍的合著者。作为公认的 SANS 取证专家和 GIAC Advisory Board 成员，他指导了对新兴安全和取证技术的研究。无论对于公共还是私人团体，Kevvie 都是一名值得信赖的顾问。他的领导才能已经在信息安全杂志 *Dark Reading and Kaspersky Threatpost* 中起到了重要作用。

Dave Hartley 是 MWR InfoSecurity 的首席安全顾问，他是 CHECK 和 CREST 认证顾问(应用程序和基础设施)。MWR InfoSecurity 为客户提供识别、管理和降低信息安全风险方面的服务。

Dave 已经执行过大量的安全评估工作，他还为很多不同领域的客户提供大量的顾问服务，包括金融机构、企业、媒体、电信行业，以及软件开发公司和世界范围内的政府组织。

Dave 还属于 CREST 和 NBISE 的技术顾问团，他监督考试并合作开发新的 CREST 考试模块。CREST 是一个基于标准的组织机构，它从事渗透测试工作，并为个体顾问提供最佳实践的技术认证。Dave 还与 NBISE 联合，为创建 US 考试中心而奔忙。

自从 1998 年以来，Dave 就一直在 IT 业界工作，他的工作范围包括大量 IT 安全领域和学科。Dave 还是一位多产的作家，他是多个信息安全期刊的主力作家。另外，他还是 SQL 注入漏洞利用工具 Bobcat 的作者。

Alexander Kornbrust 专注于数据库安全的 Red-Database-Security 公司的创始人。他为世界范围内的客户提供数据库安全审计、安全培训和顾问服务。Alexander 还参与了业界领先的数据库安全工具 McAfee Security Scanner for Databases 的设计和开发。Alexander 自 1992 年起就从事与 Oracle 产品相关的工作，他的专长是 Oracle 数据库和体系结构的安全问题。他已经向 Oracle 报告了1200 多个安全 bug。他具有 Passau 大学计算机科学硕士学位(Diplom-Informatiker)。

Erlend Oftedal 是挪威奥斯陆 Bekk Consulting AS 公司的顾问，多年以来一直领导 Bekk 的安全能力组(security competency group)。作为安全顾问和 Bekk 客户端的开发人员，他花费了不少时间。他还负责代码审查和安全测试工作。

他针对 Web 应用程序安全进行了很多演讲，包括在 Javazone 和 OWASP AppSec Europe 等软件开发和安全会议、用户组，以及为挪威及海外大学所做的演讲。他是安全研究员，在挪威的 OWASP 中具有重要作用。他还是 Norwegian Honeynet 项目的成员。Erlend 具有挪威科技大学(NTNU)计算机科学硕士学位。

Gary O'Leary-Steele(CREST 顾问)是英国 Sec-1 有限公司的技术总监。目前，他为各种客户提供高级渗透测试和安全顾问服务，包括大量的大小在线零售商和金融领域的组织机构。他的专长包括 Web 应用程序安全评估、网络渗透测试和漏洞搜索。Gary 还是 Sec-1 Certified Network Security Professional(CNSP)培训课程的培训师和主要作者，自从该培训开始以来，已经有超过 3000 名学员，Gary 受到了 Microsoft、RSA、GFI、Splunk、IBM 和 Marshal Software 等公司的赞扬，Gary 在这些公司的商业应用程序中发现了一些安全缺陷。

Alberto Revelli 是安全研究员，也是 Sqlninja 的作者。Sqlninja 是一款开源工具，对基于 Microsoft SQL Server 的 Web 应用程序，它已经成为利用 SQL 注入漏洞的必备武器。他的日常工作是为一家大型商品贸易公司服务，对于引起他兴趣的任何东西，Alberto Revelli 都喜欢深入研究。

在 Alberto Revelli 的职业生涯中，对大量公司进行了评估，包括大型金融机构、电信企业、传媒公司和制造企业。很多安全会议都邀请他去演讲，包括 EuSecWest、SOURCE、RSA、CONFidence、Shakacon 和 AthCon。

Alberto Revelli 居住在伦敦，与他的女朋友一起享受着伦敦糟糕的天气和疯狂的夜生活。

Sumit "sid" Siddharth 领导着英国 7Safe 有限公司的渗透测试工作。他精通应用程序和数据库安全技术，具有 6 年以上的渗透测试经验。Sid 创作了很多白皮书和工具。他是很多安全会议的演讲者或培训师，包括 Black Hat、DEFCON、Troopers、OWASP Appsec 和 Sec-T 等。他还维护着著名的 IT 安全博客：www.notsosecure.com。

Marco Slaviero 是 SensePost 的合伙人，他是 SensePost 实验室的带头人。在安全业界的 BlackHat USA 和 DefCon 等会议上，他对包括 SQL 注入在内的多种安全主题发表过演讲。Marco 的专业领域包括与网络有关的应用程序测试、为 4 大洲的客户提供高级顾问服务。

Marco 与他美丽的妻子 Juliette 生活在一起。

几年前 Marco 获得了 Pretoria 大学的硕士学位，但这都是过去取得的成绩，他对此毫不在意。

Dafydd Stuttard 是一位独立的安全顾问、作者和软件开发人员，他精通 Web 应用程序的渗透测试和汇编软件。Dafydd 是畅销书 *Web Application Hacker's Handbook* 的作者。他的别名是 PortSwigger，他创建了流行的 Web 应用程序黑客工具 Burp Suite。Dafydd 为安全会议以及在世界上其他地点举办的会议开发并提供培训课程。Dafydd 具有牛津大学哲学硕士和博士学位。

致　　谢

首先再次感谢 Syngress 的编辑团队(特别感谢 Chris Katsaropoulos 和 Heather Scherer)，感谢他们愿意再次出版一本由多名作者共同编写的图书。作为本书的主要撰稿人，还要感谢本书的作者团队，感谢他们齐心协力共同完成了本书。

前　言

自从 2009 年本书第 1 版出版以来又过去了不少时间，大约经过了 3 年之后，本书的第 2 版也已经面世。当我们在第 1 版中讨论 SQL 注入的理念时，SQL 注入已经出现了 10 多年，并且在本质上并没有新的改变。截至 2008 年(大约在发现 SQL 注入这一问题 10 年之后，当本书第 1 版刚开始成形时)，对于什么是 SQL 注入、如何发现 SQL 注入漏洞，以及如何利用漏洞，人们依然没有综合性的理解，更不用说如何防御 SQL 注入漏洞，以及如何从一开始就避免 SQL 注入漏洞的出现。另外，普通的观点是 SQL 注入仅仅与 Web 应用程序有关，对于混合攻击或者作为一种渗透组织机构外部安全控制的方法而言，SQL 注入并不是一种危险因素——事实充分证明这种观点是错误的，在本书第 1 版付梓前后发生的黑客安全事件就是最好的说明(比如 Heartland Payment Systems 的安全事件)。

现在是 2012 年，笔者完成了本书的第 2 版，虽然在 SQL 注入的基础理论上只有很小的变化，但是 SQL 注入的技术已经不断进步，在将 SQL 注入应用于较新的领域方面已经有了新的发展，比如将 SQL 注入应用于移动应用程序，以及通过 HTML5 实现客户端 SQL 注入。另外，此书第 2 版还为我和本书的合著者提供了一次机会，对读者在第 1 版中提出的问题提供反馈。在第 2 版中，不但全面更新了本书的所有内容，还介绍了一些新的技术和方法。另外在第 2 版中还扩大了数据库的范围，包含对 PostgreSQL 数据库的介绍。在本书的各个章节中，都将 Microsoft SQL Server、Oracle、MySQL 和 PostgreSQL 数据库作为主要的数据库平台，并在相关内容中使用 Java、.NET 和 PHP 编写了代码示例。

本书总体上分为 4 个部分——理解 SQL 注入(第 1 章)、发现 SQL 注入(第 2～3 章)、利用 SQL 注入漏洞(第 4～7 章)，以及防御 SQL 注入(第 8 章～10 章)。每一部分都有意针对不同的读者，从所有读者(理解 SQL 注入)、安全专家和渗透测试人员(发现和利用 SQL 注入漏洞)，到管理数据库的开发专家和 IT 专家(发现和防御 SQL 注入)。为了使本书的内容更丰富，包含了第 11 章以提供参考资料，该章还包含了本书并未详细介绍的其他数据库平台。如果偶然遇到这样的平台，读者可以参考本书前面章节中讨论的各种技术。

下面是每一章的内容提要：

第 1 章——介绍什么是 SQL 注入，以及 SQL 注入是如何发生的。

第 2 章——介绍如何从 Web 应用程序前端发现 SQL 注入，包括如何检测可能存在的 SQL 注入漏洞、如何确认 SQL 注入漏洞的存在，以及如何自动发现 SQL 注入漏洞。

第 3 章——如何通过审查代码来发现 SQL 注入漏洞，既可以手工方式审查代码，也可以通过自动方式审查代码。

第 4 章——如何利用 SQL 注入漏洞，包括几种常见技术，比如 UNION 语句和条件语句、枚举数据库模式、盗取密码哈希，以及以自动化利用 SQL 注入漏洞。

第 5 章——如何利用 SQL 盲注漏洞，包括使用基于时间、基于响应和非主流通道返回数据。

第 6 章——介绍如何通过 SQL 注入利用操作系统的漏洞，包括读取和写入文件，以及通过 SQL 注入漏洞执行操作系统命令。

第 7 章——介绍利用漏洞的高级主题，包括如何利用二阶 SQL 注入漏洞、如何利用客户端 SQL 注入漏洞，以及如何通过 SQL 注入执行混合攻击。

第 8 章——介绍针对 SQL 注入的代码层防御，包括基于设计的方法、使用参数化查询、编码技术以及验证有效 SQL 注入方法。

第 9 章——介绍针对 SQL 注入在应用程序平台层次上的防御措施，包括使用运行时保护、数据库加固，以及如何减小 SQL 注入影响的安全部署方面的考虑。

第 10 章——介绍如何确认 SQL 注入攻击并从攻击中恢复，包括如何确定捕获 SQL 注入失败、确定 SQL 注入是否已经成功，以及在受到 SQL 注入攻击时如何对数据库进行恢复。

第 11 章——介绍 SQL 基础知识，为 Microsoft SQL Server、Oracle、MySQL 和 PostgreSQL 数据库平台的 SQL 注入提供快速参考，还包括在其他平台上执行 SQL 注入的细节，比如 DB2、Sybase、Access 和其他数据库。

目　录

第 1 章　什么是 SQL 注入

本章目标：

- 理解 Web 应用的工作原理
- 理解 SQL 注入
- 理解 SQL 注入的产生过程

1.1　概述

很多人声称自己了解 SQL 注入，但他们听说或经历的情况都是比较常见的。SQL 注入是影响企业运营且最具破坏性的漏洞之一，它会泄露保存在应用程序数据库中的敏感信息，包括用户名、口令、姓名、地址、电话号码以及信用卡明细等易被利用的信息。

那么，应该怎样来准确定义 SQL 注入呢？SQL 注入(SQL Injection)是这样一种漏洞：应用程序在向后台数据库传递 SQL(Structured Query Language，结构化查询语言)查询时，如果为攻击者提供了影响该查询的能力，就会引发 SQL 注入。攻击者通过影响传递给数据库的内容来修改 SQL 自身的语法和功能，并且会影响 SQL 所支持数据库和操作系统的功能和灵活性。SQL 注入不只是一种会影响 Web 应用的漏洞；对于任何从不可信源获取输入的代码来说，如果使用该输入来构造动态 SQL 语句，就很可能也会受到攻击(例如，客户端/服务器架构中的“胖客户端”程序)。在过去，典型的 SQL 注入更多的是针对服务器端的数据库，然而根据目前的 HTML5 规范，攻击者可以采用完全相同的办法，执行 JavaScript 或其他代码访问客户端数据库以窃取数据。移动应用程序(比如 Android 平台)也与之类似，恶意应用程序或客户端脚本也可以采用类似的方式进行 SQL 注入攻击(请访问 labs.mwrinfosecurity.com/notices/webcontentresolver/ 以获取更详细的信息)。

自 SQL 数据库开始连接至 Web 应用起，SQL 注入就可能已经存在。Rain Forest Puppy 因首次发现它(或至少将其引入了公众的视野)而备受赞誉。1998 年圣诞节，Rain Forest Puppy 为 *Phrack*(www.phrack.com/issues.html?issue=54&id=8#article，一本由黑客创办且面向黑客的电子杂志)撰写了一篇名为“NT Web Technology Vulnerabilities”(NT Web 技术漏洞)的文章。2000 年早期，Rain Forest Puppy 还发布了一篇关于 SQL 注入的报告(“How I hacked PacketStorm”，位于 www.wiretrip.net/rfp/txt/rfp2k01.txt)，其中详述了如何使用 SQL 注入来破坏一个当时很流行的 Web 站点。自此，许多研究人员开始研究并细化利用 SQL 注入进行攻击的技术。但时至今日，仍有许多开发人员和安全专家对 SQL 注入不甚了解。

本章将介绍 SQL 注入的成因。首先概述 Web 应用通用的构建方式，为理解 SQL 注入的产生过程提供一些背景知识。接下来从 Web 应用的代码层介绍引发 SQL 注入的因素以及哪些开

发实践和行为会引发 SQL 注入。

1.2 理解 Web 应用的工作原理

大多数人在日常生活中都会用到 Web 应用。有时是作为假期生活的一部分，有时是为了访问 e-mail、预定假期、从在线商店购买商品或是查看感兴趣的新闻消息等。Web 应用的形式有很多种。

不管是用何种语言编写的 Web 应用，有一点是相同的：它们都具有交互性并且多半是数据库驱动的。在互联网中，数据库驱动的 Web 应用非常普遍。它们通常都包含一个后台数据库和很多 Web 页面，这些页面中包含了使用某种编程语言编写的服务器端脚本，而这些脚本则能够根据 Web 页面与用户的交互从数据库中提取特定的信息。电子商务是数据库驱动的 Web 应用的最常见形式之一。电子商务应用的很多信息，如产品信息、库存水平、价格、邮资、包装成本等均保存在数据库中。如果读者曾经从电子零售商那里在线购买过商品和产品，那么应该不会对这种类型的应用感到陌生。数据库驱动的 Web 应用通常包含三层：表示层(Web 浏览器或呈现引擎)、逻辑层(如 C#、ASP、.NET、PHP、JSP 等编程语言)和存储层(如 Microsoft SQL Server、MySQL、Oracle 等数据库)。Web 浏览器(表示层，如 Internet Explorer、Safari、Firefox 等)向中间层(逻辑层)发送请求，中间层通过查询、更新数据库(存储层)来响应该请求。

下面看一个在线零售商店的例子。该在线商店提供了一个搜索表单，顾客可以按特定的兴趣对商品进行过滤、分类。另外，它还提供了对所显示商品作进一步筛选的选项，以满足顾客在经济上的预算需求。可以使用下列 URL 查看商店中所有价格低于$100 的商品：http://www.victim.com/products.php?val=100。

下列 PHP 脚本说明了如何将用户输入(val)传递给动态创建的 SQL 语句。当请求上述 URL 时，将会执行下列 PHP 代码段：

```
// 连接到数据库
$conn = mysql_connect("localhost","username","password");

//使用输入动态创建 SQL 语句
$query = "SELECT * FROM Products WHERE Price < '$_GET["val"]' " .
         "ORDER BY ProductDescription";

//对数据库执行查询
$result = mysql_query($query);

//迭代返回的记录集
while($row = mysql_fetch_array($result, MYSQL_ASSOC))
{
    //将结果显示在浏览器中

    echo "Description : {$row['ProductDescription']} <br>" .
         "Product ID : {$row['ProductID']} <br>" .
         "Price : {$row['Price']} <br><br>";
}
```

接下来的代码示例更清晰地说明了 PHP 脚本构造并执行的 SQL 语句。该语句返回数据库中所有价格低于$100 的商品，之后在 Web 浏览器上显示并呈现这些商品以方便顾客在预算范

围内继续购物。一般来说，所有可交互的数据库驱动的 Web 应用均以相同的(至少是类似的)方式运行：

```
SELECT *
FROM Products
WHERE Price <'100.00'
ORDER BY ProductDescription;
```

1.2.1　一种简单的应用架构

前面讲过，数据库驱动的 Web 应用通常包含三层：表示层、逻辑层和存储层。为更好地帮助读者理解 Web 应用技术是如何进行交互的，从而为用户带来功能丰富的 Web 体验，我们借助图 1-1 来说明前面描述的那个简单的三层架构示例。

表示层是应用的最高层，它显示与商品浏览、购买、购物车等服务相关的信息，并通过将结果输出到浏览器/客户端层和网络上的所有其他层来与应用架构的其他层进行通信。逻辑层是从表示层剥离出来的，作为单独的一层，它通过执行细节处理来控制应用的功能。数据层包括数据库服务器，用于对信息进行存储和检索。数据层保证数据独立于应用服务器或业务逻辑。将数据作为单独的一层还可以提高程序的可扩展性和性能。在图 1-1 中，Web 浏览器(表示层)向中间层(逻辑层)发送请求，中间层通过查询、更新数据库(存储层)响应该请求。三层架构中一条最基本的规则是：表示层不应直接与数据层通信。在三层架构中，所有通信都必须经过中间层。从概念上看，三层架构是一种线性关系。

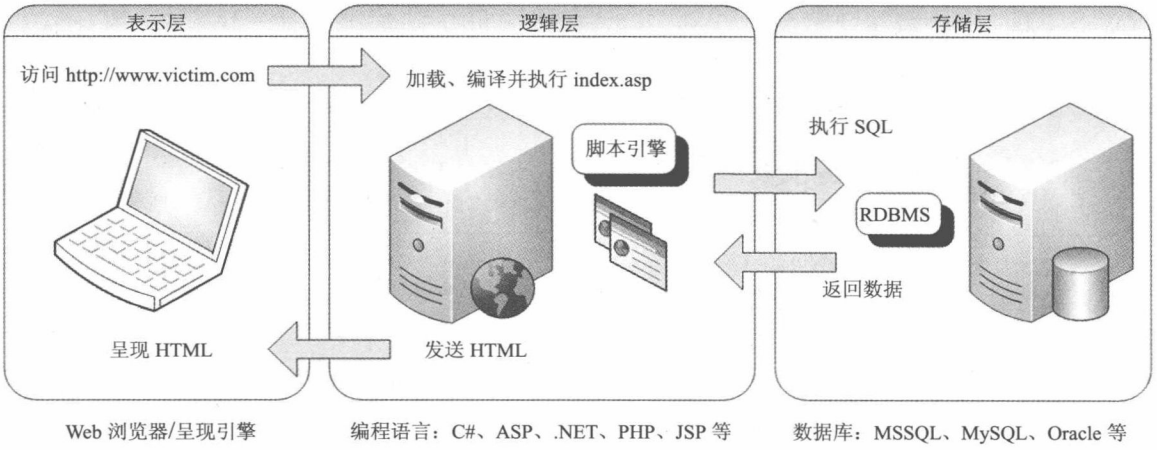


图 1-1　简单的三层架构

在图 1-1 中，用户激活 Web 浏览器并连接到 http://www.victim.com。位于逻辑层的 Web 服务器从文件系统中加载脚本并将其传递给脚本引擎，脚本引擎负责解析并执行脚本。脚本使用数据库连接程序打开存储层连接并对数据库执行 SQL 语句。数据库将数据返回给数据库连接程序，后者将其传递给逻辑层的脚本引擎。逻辑层在将 Web 页面以 HTML 格式返回给表示层的用户的 Web 浏览器之前，先执行相关的应用或业务逻辑规则。用户的 Web 浏览器呈现 HTML 并借助代码的图形化表示展现给用户。所有操作都将在数秒内完成，并且对用户是透明的。

1.2.2 一种较复杂的架构

三层解决方案不具有扩展性，所以最近几年研究人员不断地对三层架构进行改进，并在可扩展性和可维护性基础之上创建了一种新概念：n 层应用程序开发范式。其中包括一种 4 层解决方案，该方案在 Web 服务器和数据库之间使用了一层中间件(通常称为应用服务器)。n 层架构中的应用服务器负责将 API(应用编程接口)提供给业务逻辑和业务流程以供程序使用。可以根据需要引入其他的 Web 服务器。此外，应用服务器可以与多个数据源通信，包括数据库、大型机以及其他旧式系统。

图 1-2 描绘了一种简单的 4 层架构。

在图 1-2 中，Web 浏览器(表示层)向中间层(逻辑层)发送请求，后者依次调用由位于应用层的应用服务器提供的 API，应用层通过查询、更新数据库(存储层)来响应该请求。

在图 1-2 中，用户激活 Web 浏览器并连接到 http://www.victim.com。位于逻辑层的 Web 服务器从文件系统中加载脚本并将其传递给脚本引擎，脚本引擎负责解析并执行脚本。脚本调用由位于应用层的应用服务器提供的 API。应用服务器使用数据库连接程序打开存储层连接并对数据库执行 SQL 语句。数据库将数据返回给数据库连接程序，应用服务器在将数据返回给 Web 服务器之前先执行相关的应用或业务逻辑规则。Web 服务器在将数据以 HTML 格式返回给表示层的用户的 Web 浏览器之前先执行最后的有关逻辑。用户的 Web 浏览器呈现 HTML 并借助代码的图形化表示展现给用户。所有操作都将在数秒内完成，并且对用户是透明的。

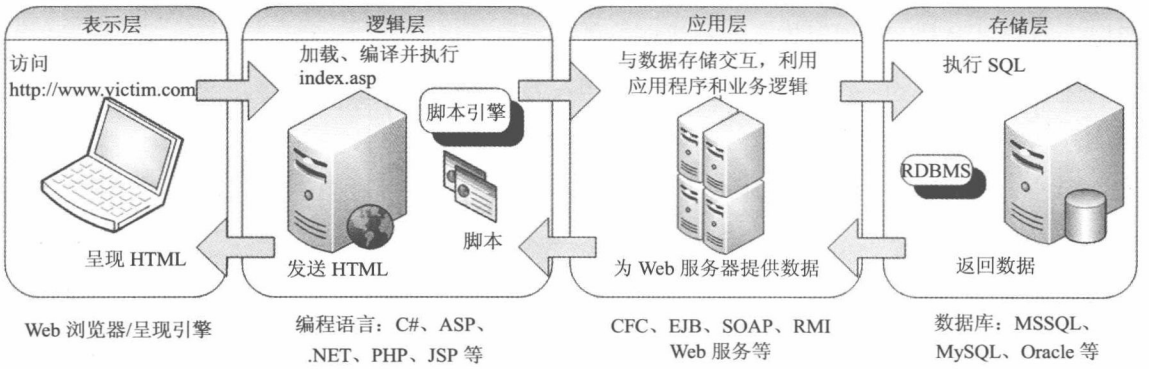


图 1-2 4 层架构

分层架构的基本思想是将应用分解成多个逻辑块(或层)，其中每一层都分配有通用或特定的角色。各个层可以部署在不同的机器上，或者部署于同一台机器上，但实际在概念上是彼此分离的。使用的层越多，每一层的角色就越具体。将应用的职责分成多个层能使应用更易于扩展，可以更好地为开发人员分配开发任务，提高应用的可读性和组件的可复用性。该方法还可以通过消除单点失败来提高应用的健壮性。例如，决定更换数据库提供商时，只需修改应用层的相关部分即可，表示层和逻辑层可保持不变。在互联网上，3 层架构和 4 层架构是最常见的部署架构。正如前面介绍的，n 层架构非常灵活，在概念上它支持多层之间的逻辑分离，并且支持以多种方式进行部署。