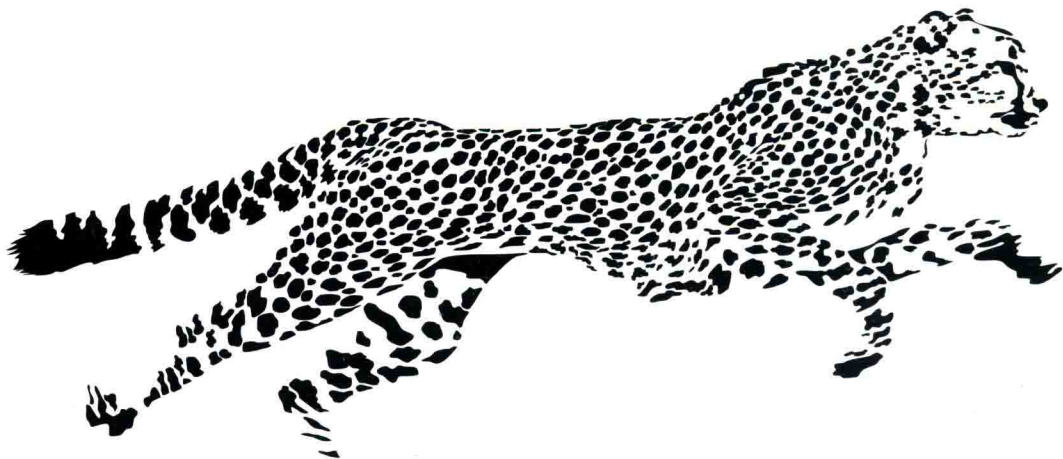


SSD技术社区SSDFans核心成员撰写，产业界和学术界10余位专家高度评价并推荐
从产品、技术和应用三个维度系统、全面讲解SSD的产品形态、整体架构、工作原理，
以及各个功能模块



深入浅出SSD

固态存储核心技术、原理与实战

SSDFans◎著



机械工业出版社
China Machine Press

深入浅出SSD

固态存储核心技术、原理与实战

阿呆 蛋蛋 Marx 胡波 SSD攻城狮◎著

常州大学图书馆
藏书章



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

深入浅出 SSD: 固态存储核心技术、原理与实战 / SSDFans 著. —北京: 机械工业出版社, 2018.6 (2018.7 重印)

ISBN 978-7-111-59979-1

I. 深… II. S… III. 存储技术 - 研究 IV. TP333

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 091595 号

深入浅出 SSD: 固态存储核心技术、原理与实战

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 孙海亮

责任校对: 殷虹

印刷: 北京市兆成印刷有限责任公司

版次: 2018 年 7 月第 1 版第 2 次印刷

开本: 186mm×240mm 1/16

印张: 21.75

书号: ISBN 978-7-111-59979-1

定价: 89.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379426 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

内容简介

本书是国内SSD领域的重要著作，由SSD技术社区SSDFans的核心团队成员撰写。团队成员都是SSD领域的技术专家，来自SSD、NAND Flash和存储行业的各大公司，精通固件开发、驱动开发、硬件逻辑开发和SSD测试等技术。

它从产品、技术和应用3个维度全面、详细地讲解了SSD的发展历史、产品形态、工作原理、整体架构，以及各个功能模块的原理和使用，从SSD的前端接口协议到FTL算法，再到后端的闪存和纠错，本书都有涉及。

全书一共9章：

第1章是对SSD的宏观介绍，包括SSD与HDD的区别、SSD的发展历史、SSD产品的各项关键指标、SSD的接口形态，以及SSD的市场情况等内容。

第2章详细讲解了SSD控制器和全闪存阵列，对SSD控制器的作用、国内外SSD控制器厂商做了全面介绍，包含多个案例。

第3章对闪存的工作原理和各种特性做了深入剖析，这为理解FTL算法打下了理论基础，因为FTL算法很多都是围绕着闪存特性设计的。本章还对新型存储介质3D XPoint做了介绍。

第4章介绍了SSD的核心技术——FTL的常用算法，包括地址映射、垃圾回收、磨损均衡、掉电处理、坏块管理等，让读者对SSD的内部工作原理有了比较清晰的认识。

第5章和第6章讲解了SSD前端接口协议技术PCIe和NVMe。PCIe和NVMe正成为SSD接口和协议的趋势。PCIe/NVMe SSD较SATA/AHCI SSD有着更快的速度和更低的延时，因此无论是企业级还是客户级SSD，都在慢慢转向PCIe/NVMe。

第7章介绍了SSD的一些主流性能测试软件、测试仪器和测试方法。测试验证是SSD开发的一个重要环节，不经过测试验证的SSD是无法产品化的。

第8章讲解了SATA/PCIe和NVMe中的电源管理技术。

第9章介绍了闪存的纠错技术LDPC。闪存ECC纠错一般有BCH和LDPC，而LDPC正成为趋势和主流。

作者简介

SSDFans

SSDFans是由几个固态存储行业的技术精英于2014年创立的，他们都是博士、硕士研究生。SSDFans创立的初衷是普及固态存储相关知识，为祖国的固态存储事业添砖加瓦。

SSDFans核心团队，都是SSD行业技术专家，精通固件开发、驱动开发、硬件逻辑开发和SSD测试等技术。

SSDFans是目前业界颇具影响力的SSD（固态硬盘）技术社区，通过微信互动等方式，建立了中国SSD产业界完善的社交网络。

SSDFans目前拥有：

（1）微信公众号：SSDfans，订阅人数一万多，并且仍在快速增长。微信公众号中的技术文章阅读率均在10%以上。

（2）网站：www.ssdfans.com，是SSD和闪存业界专业和全面的网站。

（3）几十个微信群，覆盖了SSD全产业链：

- 产品包括手机/平板/物联网等移动设备固态存储、消费级SSD、企业级SSD。
- 人群包括SSD相关行业工程师、销售人员、管理者、采购人员、用户等。

在机械硬盘时代，主导权掌握在国外大公司手里，我国的核心数据存储在国外的设备中。在固态硬盘时代，幸运的是，很多中国公司站在了技术和产业前沿，SSDFans的目标是整合SSD产业链资源，推动中国固态存储产业大发展，为振兴民族存储产业努力奋斗！

HZBOOKS | 华章IT | Information Technology



Praise 赞誉

(排名不分先后)

随着闪存技术的发展和智能终端对数据交互性能的要求日趋提高，SSD 被越来越多地应用于各种场景中。本书围绕 SSD 的产品、技术、应用等角度展开阐述，既严谨又全面，给 SSD 的从业人员和爱好者们提供了一个完整的视图。

——陈强 硅格半导体市场总监

本人从 2008 年起加入固态硬盘行业。相信大多数从业者跟我的感觉一样：希望能够系统而深入地学习固态硬盘技术，但国内却很难找到一本专业书籍。本书对固态硬盘工作原理、接口形态、市场应用等基础知识，以及控制器底层的各种算法，都进行了详尽介绍。无论是对于固态硬盘行业的从业者、技术开发者、市场人员，还是对于投资人、终端用户，本书都是不可或缺的学习和参考经典。

——楚一兵 深圳市瑞耐斯技术有限公司 CEO

固态存储无疑已成为主流，从移动装置到云，都已全面应用。本书从固态硬盘的发展史到技术应用，都进行了专业剖析和详细说明，让读者可以一次性透彻了解固态存储的来龙去脉，是值得一读及收藏的专业书籍。

——段喜亭 慧荣科技市场营销暨 OEM 事业资深副总

存储领域的中文技术书籍一直比较匮乏，关于 SSD 固态存储的书籍更是如此。听说这本书汇集了 SSDFans 五位运营者一年的努力，深感不易。再看目录也是大而全，从底层到应用，从 NAND 介质到闪存系统，从知识普及到深入的技术细节，全都有深入剖析。无论是 SSD 相关从业者，还是技术爱好者，这部全面而系统的著作都值得大家学习、参考。

——黄亮 《企业存储技术》微信公众号作者

作为硬件领域最重要的革命之一——闪存革命正在深刻地改变着 IT 的基础架构，并改变着人们获取信息的方式。理解闪存区别于磁性介质的特点和 SSD 不同于 HDD 的“怪脾气”，对于高效存储架构设计极为关键。这本书带我们近距离观察 SSD 在最近十多年的发展演进，并结合闪存的特点把通信、计算机等技术贯穿起来，实现一个接近理想的、高效的和可靠的存储架构。

——路向峰 忆恒创源 CTO

Foreword 推荐序一

信息存储记录历史、传承文明，是人类社会延续和发展不可或缺的重要手段。一个时代有多种存储介质，但总有一种存储介质是主流介质。古埃及人用的莎草纸、早期欧洲人用的羊皮纸、中国人用的竹简以及后来的纸张，都曾作为主流介质被广泛使用。进入数字时代，以硬盘为核心的磁记录介质一直是非易失性存储的主流介质。然而，由于闪存（Flash Memory）技术的迅猛发展，这种局面即将发生重大转变。闪存介质在各类存储卡、固态硬盘和全闪存阵列中大量应用，不论在终端还是在云端，闪存已无处不在。闪存介质中存储的人类社会信息总量将在不久的将来超过磁记录介质，成为数字时代新的主流存储介质。

固态硬盘（Solid State Disk, SSD）是以闪存介质为主的一种极为重要的存储产品，它广泛应用于移动终端、笔记本电脑、台式机、服务器和数据中心等场合，需求量极大。与传统的机械硬盘相比，固态硬盘的性能优势特别突出。由于取消了机械部件，旋转和寻道的延迟完全消除，固态硬盘在读写速度上远优于机械硬盘，特别是在大吞吐率的随机读写性能上有了几个数量级的提高，在性能要求高的应用场合已成为首选。与机械硬盘相比，固态硬盘的容量和价格曾是其成为主流的障碍。但随着闪存芯片容量的迅速增加和成本的快速下降，固态硬盘的最大容量已超过机械硬盘，单位容量价格也日益趋近高性能机械硬盘的价格，并将在未来的几年之中与之持平，之后将逐步取代大容量机械硬盘。

对固态硬盘这样一种量大面广的重要存储设备，无论是其设计者、生产者还是应用者，都迫切希望对其工作原理和关键技术有一个全面的了解。然而，目前关于固态硬盘的各种知识和资料散落于各类学术论文和网上的技术介绍，市面上系统介绍固态硬盘技术的书籍并不多见。本书的出版恰逢其时，满足了广大读者的需求，是一本全面介绍固态硬盘技术的书籍。

固态硬盘一般采用 NAND 闪存芯片作为基本组件，对闪存芯片特性的透彻了解是理解固态硬盘工作原理的基础。NAND 闪存用电荷存储信息，其重要特点是先擦后写，擦写寿命有

限。随着密度提高，引起了单元电荷数的减少及绝缘层变薄，从而使得 NAND 闪存的原始误码率不断提高，可擦写次数也越来越差，最新的大容量芯片擦写寿命不到 1 千次。用这样一种高误码率、短寿命的芯片来构成长寿命、高性能、高可靠的固态硬盘，需要发展一系列系统层面的技术，如地址映射、磨损均衡、垃圾回收、坏块管理等，还需要发展新的纠错编码理论、算法和实现技术来保证数据的正确性和可靠性。为了能与主机进行高性能连接与通信，需要发展与固态介质相适应的高速接口和通信协议。上述系统层面的技术不仅需要特别设计的硬件控制器来实现，还需要底层固件的支持。固态硬盘品质的优劣，不仅反映在初期使用的性能上，还反映在大负载长期使用后性能和可靠性的保持能力上，故需要发展与固态硬盘相适应的评测技术。上述内容都是因固态硬盘的出现而发展出来的新技术和新知识，本书以一种深入浅出的风格系统地阐述了这些内容。

值得特别指出的是，本书作者不仅是在第一线从事固态硬盘设计、有着深厚专业知识的资深工程师，还是一群热衷于普及固态硬盘知识的写作高手。他们创立了 SSDFans 微信群和微信公众号，发表了大量关于固态硬盘技术和市场的文章，尤其在技术内容的阐述上形成了深入浅出、通俗易懂的写作风格，读来使人兴趣盎然。我就经常进入这个微信群阅读那些十分有趣的短文，获得了不少新的技术知识和市场信息。本书延续了 SSDFans 微信群的写作风格，相信读者在阅读时一定会体验到其中的乐趣。

我国在磁记录介质时代错失了大力发展硬盘产业的机会，从而导致使用数量十分惊人的硬盘全部依赖进口。除了花费巨量外汇之外，信息安全也存在着问题。我国已意识到信息存储产业的极端重要性，大力发展闪存产业已成为国家意志。我国已投入巨资建立 3D 闪存芯片制造基地，有望解决基础器件的问题。为了使我国成为闪存时代国际舞台上的主角，建立包括芯片颗粒、控制器、固态硬盘和盘阵等环节的全产业链十分必要。固态硬盘不仅是量大面广的产品，也是连接闪存上下游产业最重要的一环。相信本书的出版能推动固态硬盘技术知识的普及，促进我国固态硬盘产业发展和应用，并在人才培养方面发挥积极作用。

闪存成为主流存储介质的时代来临，国际舞台将精彩纷呈，中国一定不能缺席。

谢长生 教授

华中科技大学武汉光电国家研究中心

信息存储系统教育部重点实验室

Forward 推荐序二

作为《大话存储（终极版）》以及《大话存储（后传）》的作者，我有幸经历了国内存储行业发展的启蒙和鼎盛时代。在 2005 年到 2013 年这 8 年间，存储市场基本就是 SAN 的市场，谈存储必暗指 SAN。但是从 2014 年往后，存储行业突然发生巨大变化，分布式系统和固态存储介质开始呈爆发式增长。今天，谈存储如果不谈一谈配以固态硬盘的分布式系统，就仿佛是上个时代的人了。

分布式系统的发展有三个技术条件：高速网络、大容量硬盘、固态介质。这三者彻底解放了分布式系统的生产力。通俗一点说也就是：网络快了、盘容量大了、盘速度快了。高速网络是分布式系统赖以生存的根本，分布式存储系统早在 20 世纪中后期就已经形成了理论基础，但是一直到近几年，网络的时延和带宽才足以支撑分布式系统架构。为了降低成本，业界兴起所谓软件定义，也就是利用廉价白牌机或者标准的机架服务器，加上分布式存储软件管理层，搭建出软件定义分布式存储系统，与传统的 SAN 存储系统瓜分市场。而分布式系统的大行其道，极大地促进了固态存储的需求量，因为出于成本考量，分布式系统中每个节点往往不会连接多级 JBOD 从而靠大量的硬盘形成高并发性能，而是只靠每个服务器自带的少量盘位，加上固态盘来抵消跨网络通信带来的时延增加，形成让传统机械盘系统望尘莫及的 IOPS 和时延性能。

可以说，固态存储对系统架构和存储市场都有着颠覆性的影响。构建在大量机械硬盘基础之上的传统 SAN 存储架构不得不为固态存储重新定制，而固态存储让整个存储系统架构变得更加简单，这样 SAN 存储的门槛更低了，从而失去了核心竞争力。目前采用传统 SAN 存储架构的存储系统相比新兴存储系统，唯一一个不可撼动的优势就是其高可靠性，体现在两方面：一是硬件部件双冗余设计；二是在硬盘、HBA 卡可靠性方面长期积累的经验。

固态存储近年来在国内的发展势头迅猛，造就了众多本土的、自主研发的、与闪存相关

的企业，其中有些为 SSD 整盘提供商，有些为自主研发 SSD 主控的企业，有些为盘和主控兼有的企业。长期以来，机械硬盘的核心技术被少数几家企业掌控，门槛极高。而固态存储的入门门槛极大降低，在研发 NAND 主控方面，相比于机械硬盘，无论是在技术储备、技术实现上，还是在人员、物料成本上，都变得可以接受。然而，这并不意味着 NAND 闪存及其控制器、固件等一整套系统可以被轻易驾驭。闪存技术领域包含很多的复杂概念及复杂算法，比如 SLC/MLC/TLC/QLC、3D NAND、快慢页、上下页、局部 / 全局磨损均衡、擦 1 写 0、垃圾回收、Device/Host Based FTL、元数据保护机制、页面映射、NVMe、PCIE/SATA/SAS、SPDK/DPMK、RDMA、NVMe Over Fabric、LDPC/BCH 等，这些概念相比传统存储系统更加接近底层和也更加精细，需要更高的学习成本。

业界迫切需要一本全面阐述、梳理固态存储底层技术的图书。本书的面世，可谓是雪中送炭，其及时满足了广大固态存储行业从业者学习了解固态存储相关知识的需求。

SSDFans 团队由知名闪存控制器厂商的工程师组成，维护着 SSDFans 微信公众号，以较高频率发布与各类固态存储相关的技术或市场类文章。我也是 SSDFans 的粉丝之一，从 SSDFans 的文章中学到不少知识。写书不易，写出一本符合人脑认知原生态思维路径的书更不易。作为全面、系统、深度介绍固态存储技术、产品的书籍，本书语言通俗易懂，脉络清晰。本书不仅可以作为固态存储行业的入门书，也可以作为广大固态存储行业从业者常备的参考书。对于已经非常资深的固态存储行业人员来说，也是开卷有益，因为通过本书他们可查漏补缺，重新梳理思路。

我强烈推荐本书！

冬瓜哥

为什么要写这本书

这是一个真正的数据大爆炸时代，看得见，摸得着。

我们每天都在生产数据：发朋友圈、发微博、上传图片和视频到社交网站、备份数据到网盘等。我们的这些数据，不是存储在虚无缥缈的云端，而是存储在云服务器上。云服务器的核心就是存储介质。无论是云端存储，还是本地存储，有数据的地方就有存储介质。

传统数据存储介质有磁带、光盘等，但更多的是硬盘（HDD）。随着数据呈爆炸式增长，对数据存储介质在速度上、容量上有更高的要求。时势造英雄，固态硬盘（Solid State Disk, SSD）横空出世。SSD 使用电子芯片存储数据，没有 HDD 的机械式部件，因此在速度、时延、功耗、抗震等方面，与 HDD 相比有碾压式优势。无论是个人存储，还是企业存储，都在逐渐用 SSD 取代 HDD。大数据时代，SSD 必将是主角。

HDD 时代我们错过了；SSD 时代，我们迎来了弯道超车的好机会。国内很多企业都希望抓住这个机遇，所以他们研发、制造 SSD，并且取得了不错的成绩，已经有了能自主研发 SSD 及 SSD 控制器的公司。国家层面也在大力研发半导体。长江存储的成立昭示了国家对固态存储这块的态度和决心。

国内 SSD 领域的从业人员，以及日常使用 SSD 的人越来越多，但是市面上专门介绍 SSD 技术的中文书籍少之又少。作为国内领先的 SSD 技术社区——SSDFans 有责任、有义务，也有动力推出一本中文版 SSD 技术书籍。

我们几位作者，都工作在 SSD 的最前线，是工程师出身，虽文笔一般但是热情十足，愿意分享对技术的理解。希望这块砖头能够帮助您敲开 SSD 的大门，如果能够解决您的一些实际问题，或者引发您的一些思考，我们更是不胜荣幸。

最后，欢迎您通过网站（<http://www.ssdfans.com>）、微信公众号（SSDFans）来进一步了解

我们，与我们做进一步的交流。

读者对象

- 计算机、电子相关专业的在校本科生，存储方向的研究生：通过阅读本书，能够更好地将所学的理论 with 业界实践结合，对相关知识有更加深刻的理解，为未来加入企业打好坚实的基础。
- SSD 研发企业的员工：通过阅读本书，可以全面学习与 SSD 相关的硬件、协议、固件以及测试等各方面的基础知识，提升整体认知，具备完整、系统的理论知识。
- 企业 IT 运维人员：通过阅读本书，可以充分了解 SSD 的优劣之处及其适用的工作场景，为公司的 IT 部署过程提供技术支持，实现整体运营成本的最优配置。
- 广大的 DIY、游戏爱好者：通过阅读本书，可以学会如何选择最适合自己的 SSD，以合理投入获得更好的娱乐体验。
- 对 SSD 产业感兴趣的投资人：通过阅读本书，可以全面了解 SSD 产业的现状，掌握基本的技术术语，以便更好地与企业沟通。
- 其他对 SSD 知识感兴趣的人。

本书特色

本书的作者团队都在业内知名公司任职，具备丰富的理论和实践知识。同时，日常维护公众号期间，跟读者的频繁互动也保证了知识的更新速度。

在撰写本书的过程中，作者们能够对技术原理做深入浅出的阐述，并结合自身工作经验给出意见。

本书主要内容

本书的内容几乎覆盖了 SSD 各个模块，既可以作为一本入门书籍进行通读，也可以在需要的时候作为工具书进行查阅。

本书内容涵盖：SSD 基础知识、SSD 各模块介绍及 SSD 测试相关内容。

SSD 基础知识包括：SSD 与 HDD 的比较、SSD 的发展历史、产品形态、整体架构和基本工作原理。

模块介绍包括：

- **FTL 闪存转换层**: 作为 SSD 固件的核心部分, FTL 实现了例如映射管理、磨损均衡、垃圾回收、坏块管理等诸多功能, 本书将一一介绍。
- **NAND Flash**: NAND Flash 作为 SSD 的存储介质, 具有很多与传统磁介质不同的特性, 本书将从器件原理、实战指南、闪存特性及数据完整性等方面展开。
- **NVMe 存储协议**: 作为专门为 SSD 开发的软件存储协议, NVMe 正在迅速占领 SSD 市场。本书将从其优势、基础架构、寻址方式、数据安全等方面展开。为了让读者对 NVMe 命令处理有更加直观的认识, 本书结合实际 PCIe trace 进行阐述。同时, 本书也介绍了 NVMe Over Fabric 的相关知识, 让读者能够对未来网络与存储的发展趋势有所了解。
- **PCIe 协议**: PCIe 作为目前主流的 SSD 前端总线, 与之前的 SATA 接口相比有着极大的性能优势。本书将从 PCIe 总线拓扑结构、分层结构、TLP 类型与路由、配置和地址空间等方面进行介绍。
- **电源管理**: 本书详述了 SSD 前端总线 (包括 SATA 和 PCIe) 的各种节能模式、NVMe 协议的电源管理方案及在 SSD 里常用的整体电源管理架构——Power Domain。
- **ECC**: 本书介绍了 ECC 的基本概念, 重点介绍了 LDPC 的解码和编码原理, 以及在 NAND 上的应用。

SSD 测试的内容包括: 本书详述了常用的测试软件、测试流程、仪器设备、业界认证及专业的测试标准等。

勘误和支持

由于作者的水平有限, 再加上时间仓促, 书中难免会出现一些错误或者不准确的地方, 恳请读者批评指正。您可通过我们的网站 (<http://www.ssdfans.com>)、微信公众号 (或微博) SSDFans、阿呆的微信号 (nanoarchplus) 或阿呆的邮箱 (adam@ssdfans.com) 随时与我们进行交流。

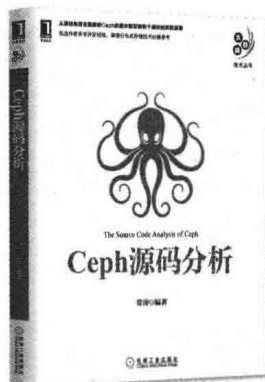
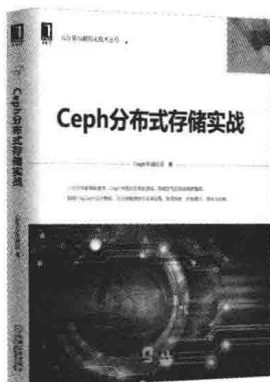
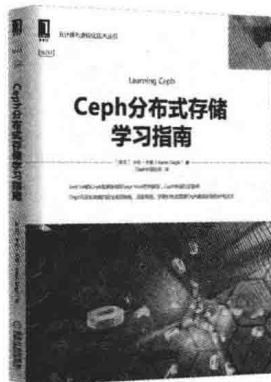
致谢

借此机会特别感谢一直以来支持 SSDFans 的各位朋友 (排名不分先后)——冬瓜哥、唐杰、路向峰、廖莎、兵哥、邵总、古猫先生、袁戎、顾沧海、山哥 (Brown) 等。

感谢机械工业出版社华章公司的编辑杨福川和孙海亮, 在这一年多的时间中他们始终支持我们这几个门外汉, 他们的鼓励和帮助引导我们顺利完成全部书稿。

谨以此书献给亲爱的家人, 以及众多支持 SSDFans 的朋友们!

推荐阅读



推荐阅读

