

创客教育实践 VEX机器人系列丛书

VEX
机器人大赛
官方推荐
教材



VEX EDR 机器人创客教程

覃祖军 主编

创客教育实践强力指导

快速入门VEX EDR机器人及参赛指南



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VEX 机器人系列丛书

VEX EDR 机器人创客教程

主编 覃祖军

参编 施宏伟 曹 炜 赵筱妹 姚园鹏



机械工业出版社

作为引领全球教育机器人潮流的著名品牌，VEX 机器人的产品、培训和竞赛在过去的十多年为包括我国在内的世界数以百万计的青少年带来了 STEAM 教育的极为有效的工具和手段。目前全世界参加 VEX 机器人比赛的队伍达到了 16000 多支，人数达到上百万，我国目前有上千支队伍参加各级比赛。

本书系统介绍了 VEX EDR 机器人的搭建、机器人编程等内容，每个主题从核心问题入手，通过对目标概要、动手体验、成果评估、思维训练和学习活动的详细介绍告诉读者如何设计机器人以及如何将机器人与学科课程相结合。

本书可以作为 VEX 机器人初学者的学习用书，也可以作为机器人教师与学生准备机器人比赛的参考用书，学校开展机器人教学的教材，比赛举办方培训教练员、裁判员的教材和中国创客教育认证教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

VEX EDR 机器人创客教程/覃祖军主编. —北京:

机械工业出版社, 2017. 8

(VEX 机器人系列丛书)

ISBN 978-7-111-57755-3

I. ① V… II. ①覃… III. ①机器人—设计—教材
IV. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 198994 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 林 桢 责任编辑: 林 桢

责任校对: 佟瑞鑫 封面设计: 鞠 杨

责任印制: 李 飞

北京铭成印刷有限公司印刷

2017 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17 印张 · 409 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-57755-3

定价: 80.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

VEX 机器人系列丛书

编委会

主 编：覃祖军

委 员(按拼音排序)：

曹 炜	崔云鹤	杜 鸽	付 严	付明霞
洪业晔	见培炎	李 刚	李 慧	刘 睿
刘晓中	刘雪娇	牛 琦	邱 林	施宏伟
覃江峰	王雪雁	韦国峰	谢建强	姚园鹏
殷 楠	张 立	张 熠	张 钰	张大光
张学虎	赵筱妹	郑兰梅	周 敏	祖浩东

丛书序

近几年，新的一波工业浪潮随着机器人、人工智能和虚拟现实等高科技的突破性发展，在世界范围内大有汹涌澎湃之势。

为了促进制造业的发展和升级，应对世界的挑战，中国政府于 2015 年发布了一项宏大的十年规划《中国制造 2025》，计划在 2025 年让中国迈入世界制造强国之列。

制造业的创新和崛起需要大批具有综合素质的优秀人才，而实践证明，教育机器人是帮助学生发展和提高综合素质的最佳平台！

作为引领全球教育机器人潮流的著名品牌，VEX 机器人的产品、培训和竞赛在过去的十多年为包括中国在内的世界数以百万计的青少年带来了 STEAM（Science 科学、Technology 技术、Engineering 工程、Arts 艺术、Mathematics 数学）教育的极为有效的工具和手段。

随着机器人技术的不断演进，以及作为教学对象的新一代青少年对科技的认知度的整体提升，社会上对机器人教材的需求也越来越多、越来越高。在这样的大环境下，由覃祖军博士主编的“VEX 机器人系列丛书”实在是恰逢其时！

综观这套丛书，本人感到作者对于 VEX 的两个产品系列（IQ 和 EDR）技术特点的理解与把握都十分精准到位。体例上，每篇以问题为起点，以目标为导向，结合动手体验和成果评估，整个流程遵循了青少年学习科技知识的认知规律。

这套丛书中最使人惊艳的特点是，作者把一系列与新科技思维相契合的思维训练，有机地与 VEX 教育机器人的教学相结合，书中列举的思维训练包括比较思维、发散思维、聚合思维、大数据相关性思维、穿戴扩展性思维、跨界思维和逆转思维等，使读者的眼界不再仅仅局限于技术技能的单纯学习，而且扩展到思维思考的综合训练。

技能的训练固然是基础，而思维的训练则是创造的根本。我可以预料，本书的读者们如果能通过这些思维训练掌握思维的一些方法，必将在今后的职业生涯中受益匪浅。为此，我想说：本书的读者们，你们有福了！

覃博士和本书的其他作者们，谢谢你们！

余河清

创首国际公司副总裁兼创首贸易公司总裁

2017 年 2 月 16 日于美国得克萨斯州达拉斯市

前言

本书系统介绍了 VEX EDR 机器人的搭建、机器人编程等内容，每个主题从核心问题入手，通过对目标概要、动手体验、成果评估、思维训练和学习活动的详细介绍告诉读者如何设计机器人以及如何将机器人与学科课程相结合。本书突出的特点就是在案例讲解中，注意培养学生的创新思维能力，如系统思维、计算思维、创意思维、量子思维等。

VEX 机器人大赛又称 VEX 机器人世锦赛，级别有地方赛（如北京赛）、中国赛、亚洲公开赛和世界锦标赛，是一项旨在通过推广教育型机器人，拓展中小学生和大学生对科学、技术、工程和数学领域的兴趣，提高并促进青少年的团队合作精神、领导才能和解决问题的能力等多级别大赛。这一比赛所涉及的机器人不仅可用于比赛，同时也是学生学习机器人、进行科技创新活动的平台，可以让教师和学生了解并开展与 STEAM 有关的课程，从而更好地发挥他们的聪明才智。目前全世界参加 VEX 比赛的队伍达到了 16000 多支，人数达到上百万，仅北京市就有 200 多所学校组队参加此项比赛，所以 VEX 机器人市场需求量大。

作者根据多年关于机器人教学和比赛的经验，系统介绍了 VEX EDR 机器人的搭建、机器人编程等内容，告诉了读者如何设计机器人以及如何将机器人与学科课程相结合，介绍了作者在机器人教学中的探索。本书所使用的机器人是 VEX EDR 智能机器人套装，简单易学，能够搭建出复杂的机械结构；使用 ROBOTC for VEX Robotics Graphical 软件，这是美国卡内基梅隆大学专为中小学生开发的一种简易的图形化编程软件。它通过像搭积木一样的方法，利用“控制”“动作”“函数”“外观”“声音”等模块中的积木，做出自己的算法或者人机交互，可以用它创造属于你自己的机器人及其运动行为。本书以授课的形式，通过大量的机器人实例和搭建配图，讲解机器人的机械结构搭建，详细介绍了机器人搭建的基本技术原理和应用，并且鼓励学生去想象和思考，从而构建出自己的机器人。同时特别注意在辅导学生动手学习的同时，发展学生的创新思维能力，并使其具备互联网思维的意识。

本书可以作为 VEX 机器人初学者的学习用书，也可以作为机器人教师与学生准备机器人比赛的参考用书，学校开展机器人教学的教材，比赛举办方培训教练员、裁判员的教材和创客教育的认证教材。

由于编写的资源内容来自多个方面，加上编者水平有限，书中难免存在疏漏和问题，恳请广大读者批评指正！

编者

2017 年 7 月于北京

目 录

丛书序

前 言

主题一	系统思维：安全与流程	1
	核心问题	1
	目标概要	4
	动手体验	5
	成果评估	5
	思维训练	5
	立体性	7
	动态性	8
	综合性	9
	学习活动	9
	一、搭建机器人安全操作指南	9
	二、操作安全检查表项	10
	三、项目管理·计划	11
	1. 工程流程	11
	2. “工程”概念的种种定义	11
	3. 迭代式开发	12
	4. 原型评估	13
	5. 工程日志	13
主题二	计算思维：ROBOTC 编程	15
	核心问题	15
	目标概要	16
	动手体验	16
	成果评估	17
	思维训练	17
	学习活动	18
	一、程序员 & 机器人	18
	1. 拖拉机机器人	18
	2. 迷宫机器人	19
	3. 机器人的角色	19
	4. 程序员的角色	20

5. 内容小结	20
二、规划 & 行为	21
1. 明确问题	21
2. 解决方案	21
3. 将解决方案拆解为小的行为	21
4. 将更小的行为以编程语言的形式表达	22
5. 构成与分析	23
6. 简单的伪代码	24
7. 进阶伪代码	24
8. 内容小结	24
三、伪代码和流程图	24
1. 伪代码	24
2. 流程图	25
四、ROBOTC 编程规则	26
1. ROBOTC 是基于文本的编程语言	26
2. 语句	27
3. 空白符	28
4. 分号	28
5. 方括号	29
6. 圆括号	29
7. 控制结构	30
8. 注释	30
9. 数据类型 (Data Types)	31
10. 常用指令	31
11. 内置编译器	34
五、VEX 控制器和 LCD 显示屏	39
1. VEX 控制器	39
2. VEX LCD 显示屏	41
六、VEX 电机套件	41
1. 电机控制器模块	42
2. 电机技术规格	43
3. 高速度的选择	44
4. 电机规格说明	44
七、VEX 传感器套件	45
1. 传感器种类	45
2. VEX 传感器套件	46
3. 电位计套件	50
4. 超声波测距仪	51
5. 巡线器套件	54

主题三 创意思维与量子思维：ClawBot 搭建技巧	56
核心问题	56
目标概要	56
动手体验	56
成果评估	56
思维训练	57
学习活动	59
一、工具的使用	59
二、常用机构件的安装	61
三、ClawBot 搭建手册	62
四、带传感器 ClawBot 搭建手册	70
五、系统配置	70
1. 固件下载，更新 Cortex 和 ROBOTC 固件	70
2. 更新 VEXnet 遥控固件	75
3. 建立 VEXnet 连接	78
4. 常见的故障	83
六、下载示例程序	84
1. 通过 VEXnet 下载	84
2. 通过 USB 线下载	86
七、编程挑战	91
1. 迷宫挑战	91
2. 雷区挑战	91
八、摇杆映射	93
1. 遥控器校准	93
2. 摇杆映射赋值	95
3. 实时控制	97
4. 数值映射	98
5. 时间和计时器	101
6. 遥控器按键介绍	103
7. 按键控制	104
8. 机械臂控制（基础）	104
九、全能挑战	107
1. 设计描述	107
2. 机械臂限制	108
十、碰触传感器	115
1. 安装与配置	115
2. VEX LCD	118
3. 超声波传感器	126

十一、巡线传感器	129
1. 阈值	132
2. 遇黑线停	134
3. 基础算法	135
4. 分段优化算法	138
十二、数线	140
1. 赋值语句	140
2. 基本算法	142
3. 断点调试	142
4. 延迟优化	144
5. 最终优化	145
十三、ROBOTC	146
1. 自然语言	146
2. Until (直至) 功能	156
3. 特殊功能	164
十四、RVW 基本介绍	165
1. 系统配置要求	165
2. 安装及使用	165
3. RVW 功能支持	168
附 录	184
附录 A 基础部分 ClawBot 搭建步骤	184
附录 B 带传感器的 ClawBot 机器人搭建步骤	197
附录 C 创客工具的使用	221
附录 D VEX EDR In the Zone (步步为营) 竞赛规则	226
附录 E 新赛季赛车搭建案例	249
附录 F VEX 实验室构建案例	252

主题一

系统思维：安全与流程

核心问题

我们的学习总是从核心问题开始的：安全第一。

机器人实验室安全事故应急预案

为迅速有效地控制和处置可能发生的事故，保护参与者的人身安全和器材安全，保障实验室安全和正常运转，应制定应急预案。应急预案通常包括两个方面：一是安全隐患分析，分析实验室存在的安全隐患、易发生的事故类型；二是应急处置措施，不同的隐患对应不同的应对方式。

成立应急组织机构、明确职责。实验室落实安全责任人和实验室安全员，并成立实验室安全事故应急领导小组。

领导小组主要职责：

- (1) 组织制定安全保障规章制度。
- (2) 保证安全保障规章制度有效实施。
- (3) 组织安全检查，及时消除安全事故隐患。
- (4) 组织制定并实施安全事故应急预案。
- (5) 负责现场急救的指挥工作。
- (6) 及时、准确报告安全事故。应急电话：火警 119；匪警 110；医疗急救 120。

(一) 火灾

火灾性事故的发生具有普遍性，几乎所有的实验室都可能发生：1) 忘记关电源，致使设备或用电器具通电时间过长，温度过高，引起着火；2) 操作不慎或使用不当，使火源接触易燃物质，引起着火；3) 供电线路老化、超负荷运行，导致线路发热，引起着火；4) 乱扔烟头，接触易燃物质，引起着火。

应对措施：

- (1) 发现火情，现场工作人员立即采取措施处理，防止火势蔓延并迅速报告。

(2) 确定火灾发生的位置,判断出火灾发生的原因,如压缩气体、液化气体、易燃液体、易燃物品、自燃物品等。

(3) 明确火灾周围环境,判断出是否有重大危险源分布,以及是否会带来次生灾难发生。

(4) 明确救灾的基本方法,并采取相应措施,按照应急处置程序采用适当的消防器材进行扑救。木材、布料、纸张、橡胶以及塑料等的固体可燃材料引起的火灾,可采用水冷却法,但对珍贵图书、档案应使用二氧化碳、卤代烷、干粉灭火剂进行灭火。易燃可燃液体、易燃气体和油脂类等化学药品引起的火灾,可使用大剂量泡沫灭火剂、干粉灭火剂将液体火灾扑灭。带电电气设备引起的火灾,应切断电源后再灭火,因现场情况及其他原因,不能断电,需要带电灭火时,应使用沙子或干粉灭火器,不能使用泡沫灭火器或水。可燃金属,如镁、钠、钾及其合金等火灾,应用特殊的灭火剂,如干砂或干粉灭火器等来灭火。

(5) 视火情拨打“119”报警求救,并到明显位置引导消防车。

(二) 爆炸

爆炸性事故多发生在具有易燃易爆物品和压力容器的实验室:1) 违反操作规程,引燃易燃物品,进而导致爆炸;2) 设备老化,存在故障或缺陷,造成易燃易爆物品泄漏,遇火花而引起爆炸。

应对措施:

(1) 实验室爆炸发生时,实验室负责人或安全员在其认为安全的情况下必须及时切断电源和管道阀门。

(2) 所有人员应听从临时召集人的安排,有组织地通过安全出口或用其他方法迅速撤离爆炸现场。

(3) 应急预案领导小组负责安排抢救工作和人员安置工作。

(三) 中毒

毒害性事故多发生在具有化学药品和剧毒物质的实验室:1) 违反操作规程,将食物带进有毒物的实验室环境,造成误食中毒;2) 设备设施老化,存在故障或缺陷,造成有毒物质泄漏或有毒气体排放不出,酿成中毒;3) 管理不善,造成有毒元件散落流失,引起环境污染。

应对措施:

(1) 首先将中毒者转移到安全地带,解开领扣,使其呼吸通畅,让中毒者呼吸到新鲜空气。

(2) 误服毒物中毒者,须立即引吐、洗胃及导泻,患者清醒而又合作,宜饮大量清水引吐,亦可用药物引吐。对引吐效果不好或昏迷者,应立即送医院用胃管洗胃。

(3) 重金属盐中毒者,喝一杯含有几克 MgSO_4 的水溶液,立即就医。不要服催吐药,以免引起危险或使病情复杂化。砷和汞化物中毒者,必须紧急就医。

(四) 触电

1) 违反操作规程,乱拉电线等;2) 因设备设施老化而存在故障和缺陷,造成漏电进而触电。

应对措施:

(1) 触电急救的原则是在现场采取积极措施保护伤员生命。

(2) 触电急救，首先要使触电者迅速脱离电源，越快越好，触电者未脱离电源前，救护人员不准用手直接接触及伤员。使伤者脱离电源的方法：1) 切断电源开关；2) 若电源开关较远，可用干燥的木橇、竹竿等挑开触电者身上的电线或带电设备；3) 可用几层干燥的衣服将手包住，或者站在干燥的木板上，拉触电者的衣服，使其脱离电源。

(3) 触电者脱离电源后，应视其神志是否清醒，神志清醒者，应使其就地躺平，严密观察，暂时不要站立或走动；如神志不清，应就地仰面平躺，且确保气道通畅，并每隔 5s 呼叫伤员或轻拍其肩膀，以判定伤员是否意识丧失。禁止摇动伤员头部呼叫伤员。

(4) 抢救的伤员应立即就地坚持用人工心肺复苏术正确抢救，并设法联系学校医务室接替救治。

(五) 意外伤害

皮肤直接接触强腐蚀性物质或使用电烙铁等引起的局部外伤，例如，割伤、烧伤、烫伤等。

应对措施：

令受到伤害的人员立即停止工作，用消毒液清洗未破损的皮肤表面，伤口以碘伏消毒，眼睛用洗眼器反复冲洗。实验室工作人员迅速着装进入实验室，清除造成伤害的原因，清理实验材料，帮助受伤人员紧急处理并撤离实验室。受到伤害的人员应立即就医，并将受伤原因及接触强腐蚀性物质的情况通报负责人。

实验室常规安全检查

安全工作人人有责，应杜绝人身伤亡事故，保证动手实验工作顺利进行。实验室主任对安全全面负责。经常进行安全督察，组织安全检查，负责处理安全事故。实验员负责水、电线路、消防器材的配置和设施安全检查。各科实验老师负责本科的物品、水电气、门窗的安全。实验员负责工具、元器件，特别是有毒、有害、易燃、易爆物质的管理。配备相应的安全设施和消防器材，并放在具有醒目标志的地方，不得挪动，有关人员应掌握消防器材的正确使用方法。安全员负责定期检查，及时更换过期、失效的消防器材。定期检查电路，防止元器件老化、损坏造成事故。移动、检修带电设备应切断电源。电路（线）电器设备故障应由专人检修。

一旦发生事故，应立即采取有效措施，防止事态扩大，抢救伤亡人员，并保护现场，通知有关人员处理事故。事故发生后，由当事人填写事故报告单。及时召开事故分析会，对直接责任者做出处理，并制定相应的整改措施，以防止类似事故发生。

为确保人身和财产安全，维护正常教学秩序，实验室应注意例行安全检查。

(一) 安全用电

(1) 用电线路和配置应由变电所维修室安装检查，不得私自随意拉接。

(2) 专线专用，杜绝超负荷用电。

(3) 使用烘箱、电炉等高温电器要有专人看守。恒温箱需经长时间试用检查，确定确实恒温后方可过夜使用。

(4) 不用电器时必须拉闸断电或拔下插头。

(5) 熔丝（俗称保险丝）烧坏要查明原因，更换熔丝要符合规格，或找变电所人员进行更换。

(6) 经常检查电路、插头、插座，发现破损立即维修或更换。

(二) 防火防爆

(1) 严格安全用电是防火的关键。

(2) 易燃、易爆物品要远离火源。必须加热处理者，应有专人监护。

(3) 超高压汞灯在通电及断电后的 20min 内，不得检修和撞击，以防爆炸。

(4) 每室要有消防器材，并保证人人会用。

(三) 防水防盗

(1) 水槽内不许存放任何杂物，随时关闭水门。需长时间流水冲洗者，必须留人监护。

(2) 自来水、暖气有泄漏，要及时修理。

(3) 易燃易爆及有害物品实行双人、双锁专柜管理，领用时需经实验室负责人批准。

(4) 贵重小型仪器设备均应加锁保管，房门安装双锁。

(5) 下班离室前，必须检查水、电、锁。

(四) 防污染

(1) 有害有毒气体不得任意排放，必要时应到有毒气柜的地方处理。

(2) 有毒物品的空容器、包装物和废弃物，应交设备科统一处理，不得随意乱扔乱倒和当废品出售。

日常实验安全操作规程

(1) 学习者进入实验室后应按自己的小组座位就座。实验前要对照实验内容，清点实验器材，并了解所使用器材的使用方法。

(2) 学习者操作实验应在任课老师和实验老师的指导下进行，实验过程中，不准离座、窜位、大声喧哗，严格遵守实验室规程，树立安全第一的思想意识，注意安全用电。

(3) 进行教学实验时，应做到精神集中，认真听讲；实验过程中，严禁乱碰、乱摸实验室及实验台的各接线端头，以防止触及电源造成人身触电事故。

(4) 机器人安装接线完毕，必须认真检查后，经任课老师和实验老师复查后才允许通电。在接入电源时，必须认真小心操作，严禁人体触及带电部分，以免造成设备损坏及人身触电事故。实验过程中如需重新安装接线时，必须切断电源，方可操作。

(5) 发生仪器、设备损坏或其他事故时，应立即切断电源，并及时报告老师处理。

(6) 实验操作完毕后，应及时切断电源，并将器材设备整理好放在桌面，保持整齐，并由任课老师和实验老师检查验收后方可下课离开。

(7) 应保持实验台、实验设备的整洁，实验室内严禁吸烟和焚烧废纸杂物。

(8) 实验室内一切物品及工具未经许可不得私自拆装和拿出室外，违者批评教育，并照价赔偿。

(9) 任课老师下课后，要及时填写本次实验情况记录。

目标概要

怎样才能安全操作机器人？安全的意识、知识、方法、措施构成安全操作流程。

制定出安全事故应急预案让我们能够未雨绸缪。

机器人操作安全检查表项就是我们常规安全检查的有效方法。

搭建机器人安全操作指南对应我们日常实验安全操作规程规范。

同时要注意形成编程管理的流程规范，即项目管理·计划，分为工程概念、工程流程、迭代式开发、原型评估、工程日志等要素与环节，从而形成我们系统化的思维方式。

动手体验

讨论搭建、操作和使用 VEX EDR 机器人可能存在哪些安全隐患？

分组完成搭建、操作和使用等三份安全检查表项的设计。

分层活动设计：

- (1) 制定一份简易的 VEX EDR 机器人操作安全检查表项。
- (2) 工程流程图描述搭建、操作和使用 VEX EDR 机器人的安全问题。
- (3) 用工程日志反思安全与系统问题。

成果评估

标准 1：你制作的 VEX EDR 机器人操作安全检查表项的创新点（特色点或亮点）有哪些？

标准 2：你发现了什么特殊的安全问题？

思维训练

系统思维是一种模式思维，它不同于创造思维或形象思维等本能思维形态，是迄今为止人类所掌握的最高级思维模式，在人类历史上还没有哪一个概念能像“系统”那样深刻影响现代人的思维方式，也没有哪一种抽象的思维方法能像系统思维方法那样为普通人迅速接受、理解并应用于指导思维实践活动。

系统思维的重要性体现在两个方面。一方面是它能极大地简化人们对事物的认知，另一方面是它给我们带来的整体观，避免盲人摸象的问题。

对于现代人来说，缺乏的不是知识，也不是信息。恰恰相反，现代人所拥有的知识和信息已经远远超出了人们实际的驾驭能力，让人不知该从何处思考。在这种情况下，就必须要有了一种简化手段来重新规划我们所掌握的知识与信息，使它们精简有序，并清理出一定的“内存”让大脑有思维的空间。

以往人们不论分析问题还是解决问题，都习惯于将事物割裂后，对其各组成部分进行解析。这种局部观的思维模式固然有利于思维深入到事物的内部进行细致的考察，但却忽视了一点，在宏观尺度上，事物是以整体的形式存在的，对局部的细致研究并不能完全解释事物的整体行为，要想整体把握事物，就必须将各个局部按照某种结构模式统一起来分析，这样才能得出正确的结论。

思维训练要点：

第一，把目光投向事物的整体。所谓整体法，就是在分析和处理问题的过程中，始终从整体来考虑，把整体放在第一位，而不是让任何部分的东西凌驾于整体之上。整体法要求把思考问题的方向对准全局和整体，从全局和整体出发。它是关于事物之间相互联系、整体和部分相互关系的思维方法，如果在应该运用整体思维的时候，却不用整体思维法，那么无论在宏观或是微观方面，都会受到损失并产生严重后果。

第二，折叠结构法。进行系统思维时，注意系统内部结构的合理性。系统由各部分组成，部分与部分之间组合是否合理，对系统有很大影响。这就是系统中的结构问题。好的结构，是指组成系统的各部分间组织合理，是有机的联系。

第三，折叠要素法。每一个系统都由各种各样的因素构成，其中相对具有重要意义的因素称为构成要素。要使整个系统正常运转并发挥最好的作用或处于最佳状态，必须对各要素考察周全和充分，充分发挥各要素的作用。

第四，折叠功能法。功能法是指为了使一个系统呈现出最佳态势，从大局出发来调整或是改变系统内部各部分的功能与作用。在此过程中，可能是使所有部分都向更好的方面改变，从而使系统状态更佳，也可能为了求得系统的全局利益，以降低系统某部分的功能为代价。

什么是系统思维？

系统思维是指以系统论为思维基本模式的思维形态，它不同于创造思维或形象思维等本能思维形态。系统思维能极大地简化人们对事物的认知，给我们带来整体观。系统思维就是把认识对象作为系统，从系统和要素、要素和要素、系统和环境的相互联系、相互作用中综合地考察认识对象的一种思维方法。

系统思维，简单来说就是对事情全面思考，不只就事论事，而是把想要达到的结果、实现该结果的过程、过程优化以及对未来的影响等一系列问题作为一个整体系统进行研究。

系统是一个概念，反映了人们对事物的一种认识论，即系统是由两个或两个以上的元素相结合的有机整体，系统的整体不等于其局部的简单相加。这一概念揭示了客观世界的某种本质属性，有无限丰富的内涵和外延，其内容就是系统论或系统学。系统论作为一种普遍的方法论是迄今为止人类所掌握的最高级思维模式。

易经是最古老的系统思维方法，建立最早的模型与演绎方法，周易成为中医学的整体观与器官机能整合的理论基础，在古代希腊则有非加和性整体概念，但西医以分解和还原论方法占主导地位。按照历史时期来划分，可以把系统思维方式的演变区分为四个不同的发展阶段：古代整体系统思维方式、近代机械系统思维方式、辩证系统思维方式和现代复杂系统思维方式。系统思维方式的客观依据，乃是物质存在的普遍方式和属性，思维的系统性与客体的系统性是一致的。现代思维方式特别是系统思维方式，主要以整体性、结构性、立体性、动态性、综合性等特点见长。

系统思维方式的结构性，就是把系统科学的结构理论作为思维方式的指导，强调从系统的结构去认识系统的整体功能，并从中寻找系统最优结构，进而获得最佳系统功能。从系统思维结构性来看，系统结构是与系统功能紧密相连的，结构是系统功能的内部表征，功能是系统结构的外部表现。系统中结构和功能的关系主要表现为系统的

结构决定系统的功能。在一定要素的前提下，有什么样的结构就有什么样的功能。问题是在于，与人相联系的系统其结构才决定其功能，表现为优化结构和非优化结构同功能的关系。优化结构就能产生最佳功能，非优化结构不能产生最佳功能，这是结构决定功能的一个具有方法论意义的观点。

系统思维方式的结构性，对认识方法论的基本要求，就是要树立系统结构的观点，在具体实践活动中，紧紧抓住系统结构这一中间环节，去认识和把握具体实践活动中各种系统的要素和功能的关系，在要素不变的情况下，努力创造优化结构，实现系统最佳功能。比如，进行的经济体制改革，就是在现有条件下进行的经济体制结构的改革，通过经济体制结构的优化来提高整体的经济能力。

系统的要素和结构对功能的作用都是非常重要的。要素是功能的基础，而结构是从要素到功能的必经的中间环节，在相同的要素情况下，不同结构对功能起着决定性作用。不仅如此，通过要素和结构关系所表现出的容差效应可以看出，系统要素在数量上不齐全和在质量上有缺陷，在一定条件下可以通过系统结构的优化得到弥补，而不影响系统的功能。

苏联制造的米格 25 型飞机，按构成它的部件来说并不是世界上最先进的，但由于结构优化，其功能在当时是世界第一流的。系统思维方式的结构性，在考察要素和结构同功能的关系时，必须在头脑中把思维指向的重点放在结构上；在追求优化结构时，必须全力找出对整个系统起控制作用的中心要素，作为结构的支撑点，形成结构中心网络，在此基础上，再考察中心要素与其他要素的联系，形成系统的优化结构。

立体性

系统思维方式是一种开放型的立体思维。它以纵横交错的现代科学知识为思维参照系，使思维对象处于纵横交错的交叉点上。在思维的具体过程中，系统思维方式把思维客体作为系统整体来思考，既注意进行纵向比较，又注意进行横向比较；既注意了解思维对象与其他客体的横向联系，又能认识思维对象的纵向发展，从而全面准确地把握思维对象的规定性。

客观事实都是纵向和横向的统一。任何一个认识客体，既是由若干个子系统构成的系统，又是另一个更大系统中的子系统。作为一个独立的系统，它的发展是纵向的；作为一个子系统，它与其他子系统之间的联系是横向的。这样一个具体系统的本质，不仅取决于该系统内部各子系统之间的结构形式，而且取决于与其他系统之间的联系形式。所以，立体思维，就是指主体在认识客体时要注意纵向层次和横向要素的有机耦合，时间和空间的辩证统一，在思维中把握研究对象的立体层次、立体结构和总体功能。不但要有“三维思维”，更要有“四维思维”，即研究系统运动的空间位置时，要考虑其时间关系；而研究系统运动的时间关系时，要考察其空间位置。立体思维就是时空一体思维，是纵横辩证综合思维。

在立体思维中，纵向思维和横向思维不再是各自独立的两种思维指向形式，而是有机地统一在一起，形成一种互为基础、互相补充的关系。纵向思维以横向思维为基础，就是说，要在横向比较中进行纵向思维，而且只有经过横向比较之后才能准确地确定纵向思维目标。例如，我们要上一个新产品时，总要先进行调查论证，了解市场的供求关系，了解什么商品畅销，在横向比较的基础上，才能较为准确地选定某种新产品作为纵向思维的目标。横向思