



新世纪高等学校规划教材·信息管理核心课系列

系统原理与方法

第2版

吴广谋◎著



Principles and
Methods of Systems



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社



新世纪高等学校规划教材·信息管理核心课系列

系统原理与方法

第2版

吴广谋◎著

Principles and
Methods of Systems



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

系统原理与方法 / 吴广谋著. —2 版. —北京:北京师范大学出版社, 2017.4

新世纪高等学校规划教材·信息管理核心课系列

ISBN 978-7-303-22105-9

I. ①系… II. ①吴… III. ①系统科学—高等学校—教材 IV. ①N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 027996 号

营销中心电话	010-62978190 62979006
北师大出版社科技与经管分社	www.jswsbook.com
电子信箱	jswsbook@163.com

XITONG YUANLI YU FANGFA

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com

北京市海淀区新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印刷: 北京嘉实印刷有限公司

经销: 全国新华书店

开本: 730 mm × 980 mm 1/16

印张: 14.5

字数: 260 千字

版次: 2017 年 4 月第 2 版

印次: 2017 年 4 月第 2 次印刷

定价: 30.00 元

策划编辑: 马洪立 张自然

责任编辑: 姚 兵 张自然

美术编辑: 刘 超

装帧设计: 李井东 刘 超

责任校对: 李 茵

责任印制: 孙文凯 赵非非

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-62978190

北京读者服务部电话: 010-62979006-8021

外埠邮购电话: 010-62978190

本书如有印装质量问题, 请与出版部联系调换。

印制管理部电话: 010-62979006-8006

序

一、整合被分裂的思维

如果把人的认知系统比喻成一台“生物计算机”，可以认为，我们在书本中学到的绝大部分知识相当于在这台生物计算机上安装“应用软件”。我们可以发现：

(1) 安装某些“应用软件”时困难重重，名义上已安装，实则不能运行，即有些知识学习了以后，并不能自如地应用；

(2) 供安装的“应用软件”是某些“生物计算机”开发的创新产品，即供人们学习的知识是另一些人的认知系统开发出来的。

同样的人，认知系统的性能应该没有本质差别，为什么他人能开发的知识产品，另一些人连应用都会有困难呢？

可能的原因是生物计算机某些性能被制约了，或是安装了较低版本的操作系统(但许多时候，人们会用不感兴趣、无用等托词为操作系统的低版本辩护)。我们需要对认知系统的操作系统进行升级。现在人类对素质教育、能力开发的关注便是出于“升级”操作系统的需要。

我们的认知体系可以说是最复杂的整体。这个整体的某种运作称为思维。思维这种听上去熟悉、人们无时无刻不在运用却不太会深究的东西的重要性是不可否认的。但我们是否有可能把握与掌控思维呢？许多时候，我们被自己的思维控制着，以致在有缺陷的思维下采取行动，而不得不承担不愿承受的后果。

我们思维中本有而被忽略的是思维整体中的一部分，这一部分的忽略局限了认知系统的性能。我们到底忽略了什么？

如果把思维看作“生物计算机”的运作，思维的结果在“屏

幕”上显现的部分是我们最熟悉的。然而屏幕上显现的结果是屏幕外的一系列运作过程的结果。谁也不否认思维有过程，但却没有人关注这种过程。正如看电视时，人们总被屏幕上显现的故事吸引而对电视机的运作毫不在意。至今，即使有人希望能关注思维过程，也觉得无从下手了。

思维的结果与过程是一个整体，或一体的两面。对过程的忽略是我们普通人的常态，这就是思维的分裂。思维的分裂不是思维的本来面貌，它将会把我们带向何处？需要关注被分裂思维的整合吗？能以过程与结果的整体感知思维吗？

操作系统的开发人员关注计算机的运作过程是理所当然的，正如农民会不断关注庄稼的生长过程。对他们而言，结果只是过程的产物。实际上，每个人对他自己有信心的领域都能在过程中把握结果。

为什么要在此点出这样一个不太轻松的主题？

一般，当我们面对一个对象时，同样希望“更全面地看问题，把握事物的本质”，强调从事实出发，这也是系统思想与系统方法存在之依据。如果把研究者已开发的系统科学知识作为“应用软件”，这种“应用软件”能安装在以分裂的思维为主的“生物计算机”中吗？

我们希望点出的主题是：系统思维训练是“生物计算机”操作系统升级的运作，系统的知识是升级操作系统的引导或“说明书”。但与一般计算机只有待升级完成才能应用不同，系统方法的应用与思维的整合可以在实践中同时进行，即强调系统方法是以整合的思维为基础进行运用的，分裂的思维无法实现系统方法的成效。

用系统科学的语言来表达，思维分裂与思维应用于认知的过程存在一个循环过程：分裂的思维会产生被认知对象的分裂，导致在不清楚对象实质的认知中采取行动。如果忽略思维分裂是产生不利后果的根本原因，会进一步强化思维的分裂，又进一步分裂认知对象，这是一个恶性循环。实质是使我们的认知离事物的本质更远。但是，也有一个循环过程可供我们选择：通过强化思维整合的意识，强化系统性看问题的能力，作用于认知对象；减少强加于对象的分裂，在更接近真相的基础上采取行动，这会成为思维整合的动力。这样形成一个良性循环，实质是使我们的认知更接近事物的本质。

也许，客观真实地认知对象有其他方法，但可以肯定，系统方法是一种被现代科学接受的方法，它可以使人们的认知更接近事物的本质，至少不会因强化思维整合与系统思考而失去什么。

二、系统原理与方法的直观解释

我们可以从方法论的一般意义上来理解系统原理与系统方法。

在我们的认知实践中，当我们宣布已认识了某一对象时，这一对象在我们大脑中将以何种形式显现？我们希望明确大脑存放已认识对象信息的形式。

例如，管理专业的学生学了战略管理，战略管理的知识以何种形式存放于大脑中？又如，懂得了太阳系是什么，太阳系以何种形式在大脑中显现？再简单一点，回忆解一道数学应用题的经历，当懂得了怎样解这道题时，我们到底掌握了什么？

众多已被认识的客体的内涵作为知识存放于大脑中。记录于大脑的知识是有规则的，这种规则的特征是什么呢？事实上，已被认识的对象，我们能够陈述它由哪几个部分组成、各个部分之间的联系方式是什么。任何对象的认识最终都需要明了它的组成成分及其联系，也就是说，对象的构成部分及部分之间的联系是我们的大脑记录已认识对象的基本形式。

平时，我们经常使用的“结构”一词，实际上是指对象的组成部分与部分之间的联系。可以说，要认识某个对象，最终要认识的是其结构。当我们的大脑中能清晰地显现对象的结构时，我们就达到了一定的认知满足。

什么途径与手段可以使一个未被认识的对象成为已被认识的对象？无疑，读书是现代人最广泛使用的方法。读书可以把前人对某个对象结构的认识直接纳入大脑，使我们的知识得以丰富。然而也存在读书以外的获得知识、认识事物的途径。

发挥人的主观能动性，以更有效率的方式来认知事物、扩大认知领域是人类永恒的追求。人们已经总结出许多更有效、更快速认知客观对象的思维方式，我们把它们统称为方法论。本质上说，方法论是使我们更有效率地思考问题的知识。

哲学、自然辩证法是方法论，逻辑学是方法论，各个具体学科又有各自的方法论。本书所介绍的系统方法是方法论的“家族成员”。

系统方法是一种怎样的方法？回答这一问题需先了解作为系统方法理论基础的系统原理。概括地说，系统原理是以事物在一定意义下的整体性为基本假设，揭示整体与外部、整体内各个部分之间联系规律的理论思维方法，它是一种揭示整体运动基本规律的理论。系统方法泛指以系统原理为基础的思维方法，它的根本作用是提高认知与思维的效率。

具体而言，把某一对象当作系统，揭示对象的存在方式与运动规律的方法可以称为系统研究。解决问题的过程是一个整体，这一整体需揭示出解决问题的环节与步骤，给出一个解决某类问题的程序，这种程序称为系统方法，也可以称为解决问题的思维与行动条理。平时我们所说的系统方法既包括把对象作

为系统的系统研究，也包括解决问题程序的系统方法。

系统方法不能简单地理解为仅仅是某一种方法，解决问题过程的不同意味着系统方法的多样性。随着人们实践的不断深入，新的系统方法将会不断涌现。

随着系统思想的普及，我们已经看到各种体现系统思想的解决问题的程序不再强调它的系统基础，这表明系统思维作为基础思维模式在人们思想体系中的地位在不断提升。

三、本书的主题与主要内容

在作者多年的教学实践中，总能遇到一个很有启发性的现象：一些缺乏实际工作经验的学生，常常用学习数理知识的方法来学习系统原理与方法，并且以数理知识的学习框架来评价学习系统原理与方法的难易程度，认为这只不过是一些浅显的理论；而那些实践经验丰富的学生，学习后会产生较深的感受与体会，他们觉得学习系统理论和掌握系统方法是有难度的。确实，如果没有大量的实践基础，系统原理可能是“空”的；反之，如果在实践中积累了大量的解决复杂问题的经验，那么这些经验中必然包含着丰富的系统知识的素材，进而对系统原理的体会就有了切实的基础。由此，作者体会到基于学科的逻辑体系学习系统理论并不是好方法，需要以激发学生潜在系统思维能力为出发点，来打破分析科学训练所形成的框架。

本书以提高读者的系统思考能力、改进思维方式为宗旨，在内容组织中挑选了一些富有启发性的实例与案例作为原理与方法的支撑，并且力求使实例与案例避开过于专业的知识。这样，即使缺乏实践基础的学生也有可供思考的素材。同时，在内容的取舍上不再依据系统科学的庞大体系，不再去追求系统学各分支的完整性，而是依据系统思维训练的需要来组织内容，如传统同类书籍中“系统技术”这一层次的内容没有在本书中出现，并且避开了以定义、定理、推论的方式组织内容。所以，本书对有志于研究系统理论的读者可能作用不大，而对于希望用系统思想指导实践、提高解决实际问题能力的读者来说则是一本具有较强可读性的书。从应用的角度看，系统理论的作用，关键不是掌握系统知识的多少，而是养成系统思考的习惯。

本书的具体内容是：在直观讨论系统原理的基础上对传统的霍尔三维结构及系统分析作了较详细的介绍；对近年发展起来的使用频率较高的问题分析技术、潜在问题分析技术作了详细介绍；对处理“无结构问题”的软系统方法作了详细的解释；对各个层面研究系统的重点内容，如目标、分析框架与边界、环境、结构、功能等作了较全面的讨论。这些内容都是系统原理与方法的核心内

容，掌握它们具有重要意义，但作者更希望这些内容中所包含的系统思维模式能成为读者自己的思想。在以上内容的基础上，介绍了更深入理解系统原理的几个专题：首先，通过实例介绍了一些机理建模的技巧与方法；其次，直观地介绍了理解系统演化的自组织理论；最后，回到系统的一般原理，在前面内容的基础上进一步深化了第一章的内容。

这些内容又可以分为两个层次：第一个层次是前五章的内容，它是系统思维能力训练的基础。这一层次内容适用于各种专业背景的学生，提供了应对一般管理事务中遇到的问题的思维工具。第二个层次是后两章的内容，它是深化系统方法认识与应用的专题，要求读者有理工科背景的数学基础及较强的抽象思维能力，这两章的内容可分开阅读或选读。

虽然上述内容安排是作者多年教学实践后认真思考的结果，但是作为一种探索和尝试难免有片面性，感谢学生们对这种探索的支持与鼓励。作者同该领域的同人拥有一个共同的愿望，那就是希望系统思维能成为所有人的基本思维方式，从而使我们的思维更有效率。

吴广谋

目 录

第一章 系统概论 /1

第一节 经典系统工程范例——都江堰

渠首工程 1

一、岷江地理概况 1

二、工程的主要组成模块 2

三、从系统工程视角对都江堰工程的解读 4

四、总结 6

第二节 系统观念的历史发展 7

一、古代系统思想 7

二、近代系统思想 7

三、现代系统思想 8

第三节 系统的基本概念 10

一、系统 10

二、结构 14

三、功能 16

四、层次 18

第四节 系统的分类与系统科学 20

一、系统的分类 20

二、系统科学 23

第五节 系统的特征 25

一、整体性 25

二、相关性 25

三、层次性	26
四、目的性	26
第六节 学习方法论的系统分析	26
一、研究学习的一些成果	27
二、能量分配—神经元运动的学习模式	27
三、学习过程模型	28
四、学习内容对内学习层次的选择性	30
五、知识使用系统与学习内容的相容性、适应性和排斥性	31
六、学习方法论的特点	31

第二章 系统工程 /34

第一节 系统工程及其历史回顾	34
一、系统工程概述	34
二、系统工程发展简史	35
第二节 霍尔三维结构	38
一、时间维	38
二、逻辑维	40
三、知识维	40
第三节 逻辑维步骤详解	41
一、明确问题	41
二、确定目标	43
三、系统综合	44
四、系统分析	47
五、系统评价	49
六、决策	49
七、实施	51
第四节 应用实例	52
一、丁渭修复皇宫	52
二、石油运输技术方案的产生	52
三、医院值班安排	54
四、产品开发的明确问题	54
五、逆向思维的例子	55
六、自下而上的反馈	55

第五节 几种常用的技术方法	56
一、K.J. 法	56
二、概要记述法	57
三、头脑风暴法	58
四、5W1H 法	59

第三章 系统分析 /60

第一节 兰德型系统分析	60
一、系统分析的目的	61
二、系统分析的要素	61
三、系统分析程序	62
四、系统分析原则	63
五、系统分析中的技术方法	65
六、简要评述与应用	66
第二节 问题分析技术	67
一、问题分析概述	67
二、问题分析技术的结构	68
三、兰德型问题分析技术应用实例	71
四、应用实例	75
第三节 潜在问题分析技术	78
一、潜在问题分析的含义	78
二、潜在问题分析的要素	79
三、潜在问题分析的价值思考	79
四、应用实例	80

第四章 系统研究 /85

第一节 目标分析	85
一、目标的基本要求	86
二、多目标之间的关系	86
三、组织中的三层目标	87
四、组织中各层次目标的关系	87
五、目标的分解与协调	89
六、设计目标的要点	89
七、决策模拟	90

第二节 分析框架	93
一、决策程序及扩充	93
二、定义决策系统	96
三、识别决策系统的分析框架	100
四、把分析框架作为思考对象	100
五、分析框架的构成要素	102
六、分析框架的继承与管理	104
七、在思维运作中理解框架管理	106
八、应用实例	107
第三节 边界分析	108
第四节 环境因素分析	110
一、系统与环境的关系	110
二、环境因素分析思路	111
三、情景规划简介	112
第五节 系统的结构分析	114
一、系统中要素的描述	115
二、要素之间关联的类型及描述	116
三、关联的基本形式	117
四、基本关联组合的复杂性	119
第六节 结构分析的实际应用	123
一、“积极惰性”的成因分析及其对策	123
二、企业经营中的“舍本逐末”陷阱	128
三、依赖兴趣的心路演化过程分析	134
第七节 系统的功能分析	137
一、功能的区分	138
二、功能的层次结构与功能树	139
三、单一因素限制功能的规律	140
四、功能分析的思路	141

第五章 切克兰德型方法论 /143

第一节 无结构问题	143
一、从问题背景到提出目标的过程	143

二、人类活动系统中的无结构问题	145
三、应用实例	147
第二节 切克兰德软系统思想	148
一、概述	148
二、方法论的逻辑顺序简介	148
三、软系统方法步骤的详细讨论	150
四、软系统方法论的评议	161
五、应用实例	162
六、案例分析	165

第六章 系统的自组织 /168

第一节 自组织现象的典型事例	168
一、雪花的形状	168
二、贝纳德水花	169
三、激光	171
四、布鲁塞尔器	172
第二节 研究自组织的学科	173
一、耗散结构理论	174
二、协同学理论	174
三、突变论	174
第三节 耗散结构理论简介	175
一、耗散结构形成前主流科学的观念	175
二、耗散结构	176
三、熵的观点对耗散结构的解释	177
四、耗散结构理论引出的与系统有关的概念	178
第四节 协同学简介	179
一、概述	179
二、伺服原理与绝热消元	180
三、序参量	182
四、序参量方程的分析与自组织的特征	183
五、自组织的基本共性	187
第五节 系统的自组织概述	187
一、组织与自组织	188

二、自组织的观察点	189
三、自组织过程的特殊形式	192
第六节 形成自组织的途径	195
一、改变系统的组分形成自组织	195
二、不同自由能引发自组织	196
三、外界控制参量改变引发自组织	197

第七章 系统原理 /198

第一节 认识事物方法的发展	198
一、思维的若干特征	198
二、事物存在的特征	200
三、联系规律	200
第二节 联系的特征与规律的要点	201
第三节 系统的基本概念与基本规律	203
一、系统、要素、环境	203
二、结构与功能	204
三、层次性原理	206
第四节 系统的控制	207
一、反馈与控制	207
二、控制的基本方式	209
第五节 系统中的竞争与协同	210
一、竞争	211
二、协同	212
三、竞争与协同	212
第六节 系统的结构动态性	212
一、观察结构动态性的时间尺度	213
二、结构稳定性	213
三、结构的突变	214
四、系统的演化	214

参考文献 /216

第一章 系统概论

第一节 经典系统工程范例——都江堰渠首工程

都江堰渠首工程是我们祖先的伟大创造，是中华文明强调整体特征的范例。虽然都江堰渠首工程历时两千多年，但用今天的系统工程思维再来解读我们祖先的创造，仍然能震撼人们的心灵。

“得蜀则得楚，楚亡则天下并矣。”当时的社会管理者正确认识到了巴、蜀在统一中国中特殊的战略地位，因此，驯服岷江水，新开若干运河以连接平原区物产丰富的各县，并与政治经济中心——成都形成水上交通网络，与岷江航道动脉相连成为当时社会的迫切需求。在这一历史大背景下，战国末期秦昭王委任李冰为蜀国郡守，根治岷江水患，发展川西农业，发展成都平原，为秦国统一中国创造经济基础。李冰父子创造了至今仍为人称道的都江堰水利工程。我们以今天的系统工程方法为基础，再次解读我们祖先的这一伟大创造。

一、岷江地理概况

岷江是长江上游水流量最大的支流，发源于四川与甘肃交界的岷山南麓，分为东源和西源，东源出自弓杠岭，西源出自郎架岭。东西两源在松潘境内漳腊的无坝汇合。岷江向南流经四川省的松潘县、都江堰市、乐山市，在宜宾市汇入长江，其流经的四川盆地西部是中国多雨地区。岷江全长 793 公里，流域面积 14 万平方公里，全河落差 3 560 米，平均坡度 4.83‰，年均总水量约 150 亿立方米。

都江堰渠首海拔 730 米，上游集雨面积 23 037 平方公里，雨量主要集中在雨季。九顶山南汶川县的漩口一带为雨量集中区，最大年降雨量 1 688 毫米，最大日降雨量 228 毫米，年平均流量 497 立方米/秒，流量大时达 6 880 立方米/秒(非洪灾情况)，所以岷江之水涨落迅猛，水势湍急。泥沙夹带情况：悬移质年平均约 900 万吨，最大约为 2 600 万吨，平均沙率 0.45 公斤/立方米。年总输沙量约 1 000 万吨，约合 500 万立方米。

岷江从成都平原西侧向南流去，对整个成都平原而言是地道的地上悬江。成都平原的整个地势从岷江出山口玉垒山向东南倾斜，坡度很大。都江堰距成都 50 千米，而落差竟达 273 米。都江堰建设之前，每当岷江洪水泛滥，成都

平原就是一片汪洋；一遇旱灾，又是赤地千里，颗粒无收。岷江水患长期祸及四川盆地西部，成为古蜀国生存发展的一大障碍。

二、工程的主要组成模块

都江堰的整体规划是将岷江水流分成两支，其中一支水流引入成都平原，这样既可以分洪减灾，又可以引水灌田、变害为利。在水流量大的情况下，引流约占总水流比例的四成；在水流量小的情况下，引流约占总水流比例的六成。

图 1-1 为 1931 年都江堰渠首枢纽平面布局图。

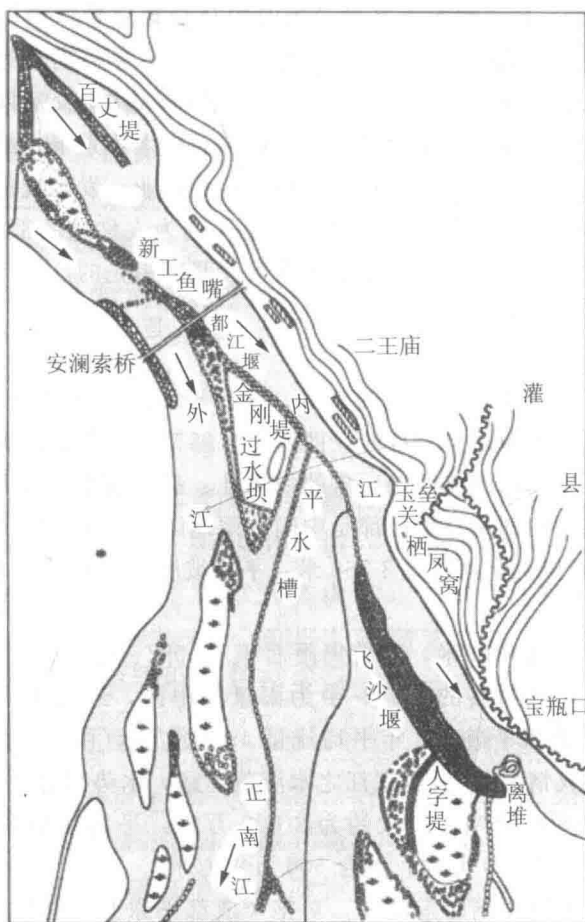


图 1-1 都江堰渠首枢纽平面布局图(1931 年)

都江堰渠首工程主要组成部分包括宝瓶口进水口、鱼嘴分水堤和飞沙堰溢洪道。

1. 宝瓶口及其修建过程

李冰父子邀集了许多有治水经验的农民，对地形和水情作了实地勘察，决心凿穿湔山（今名灌口山、玉垒山）引水。由于当时还未发明火药，李冰便以火烧石，使岩石爆裂，在湔山凿出了一个宽 20 米、高 40 米、长 80 米的山口。因其形状酷似瓶口，故取名“宝瓶口”，把开凿湔山分离的石堆叫“离堆”。

之所以要修宝瓶口，是因为只有打通湔山，使岷江水能够顺利地流向东边，才可以减少西边的江水的流量，使西边的江水不再泛滥；同时也能解除东边地区的干旱，使滔滔江水流入旱区，灌溉那里的农田。这是治水患的关键环节。

宝瓶口起到“节制闸”作用，能自动控制内江进水量，是湔山伸向岷江的长脊上凿开的一个口子。离堆在开凿宝瓶口以前，是湔山虎头岩的一部分。由于宝瓶口自然景观瑰丽，有“离堆锁峡”之称，是历史上著名的“灌阳十景”之一。

2. 分水鱼嘴及其修建过程

宝瓶口引水工程完成后，虽然起到了分流和灌溉的作用，但因江东地势较高，江水难以流入宝瓶口。为了使岷江水能够顺利东流且保持一定的流量，同时充分发挥宝瓶口的分洪和灌溉作用，修建者李冰在开凿完宝瓶口以后，又决定在岷江中修筑分水堰，将江水分成两支：一支顺江而下，另一支引导流入宝瓶口。分水鱼嘴选择在河流大湾，使内江处于外侧，这样达到了流量大时内江流量小，而枯水期内江流量大的灌溉目标。

鱼嘴分水堤是都江堰的分水工程，因其形如鱼嘴而得名。它昂头于岷江江心，包括百丈堤、金刚堤等一整套相互配合的设施。其主要作用是把上游奔流的江水分成内、外二江：西边叫外江，俗称“金马河”，是岷江正流，它沿岷江顺流而下，主要用于排洪；东边沿山脚的叫内江，它流入宝瓶口，是人工引水渠道，主要用于灌溉。由于内江窄而深，外江宽而浅，这样枯水季节水位较低，则六成的江水流入河床低的内江，保证了成都平原的生产生活用水；而当洪水来临，由于水位较高，于是大部分江水从江面较宽的外江排走。这种自动分配内、外江水量的设计就是所谓“四六分水”。这样就利用地形，完美地解决了内江灌区冬春季枯水期农田用水以及人民生活用水的需要和夏、秋季洪水期的防涝问题。

3. 飞沙堰及其修建过程

为了进一步控制流入宝瓶口的水量，分洪、减灾、排沙和调节水量，保持