 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i9.11580

Research on Problems in the Design Stage of River Training Projects in Yunnan Province Based on ANP

Jiansheng Li[1] Ruijin Li[2]

1. Faculty of Civil Engineering and Mechanics, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, 650000, China
2. Yunnan Runjing Engineering Technology (Group) Company Limited, Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

In designing small river training projects, issues like insufficient survey, weak ecological consideration, and design–construction gaps undermine effectiveness. Using ANP, we reveal bidirectional feedback among survey, design, and construction. Insufficient survey depth and weak design capacity are driving factors; lack of systematic design and planning disconnection are intermediary. Countermeasures include strengthening survey capacity, whole-process coordination, and cutting feedback loops to improve overall performance.

Keywords

river training; engineering design; ANP; Hall's threedimensional structure; systems engineering

基于 ANP 法的云南省河道治理工程设计阶段问题研究

李健圣[1] 李瑞谨[2]

1. 昆明理工大学建筑工程学院，中国 · 云南 昆明 650000
2. 云南润晶工程技术（集团）股份有限公司，中国 · 云南 昆明 650000

摘 要

中小河流治理工程设计阶段常存在地质勘察不足、生态理念贯彻不到位及设计与实施脱节等问题，制约工程成效。本文基于霍尔三维结构模型，运用网络层次分析法（ANP）梳理问题网络，揭示勘察、设计、实施间的双向反馈关系。分析表明，勘察深度不足与设计能力薄弱为“驱动型”要素，设计方案缺乏系统考量与规划脱节则居于“中介”位置。据此提出加强勘察能力建设、构建全过程协同机制、切断反馈回路等系统化对策，以提升治理工程整体效能。

关键词

河道治理；工程设计；ANP；霍尔三维结构；系统工程

1 引言

1.1 研究背景与问题提出

云南省地处高原山区，境内中小河流众多，随着区域经济的发展，河道治理的重要性伴随性走高，而随着河道治理项目的铺开施行，项目设计阶段暴露出各类问题诸如前期地勘深度不足导致设计方案存在先导性漏洞、设计时重考虑河岸防洪却轻考虑生态抑或是与实际施工时存在矛盾，此类问题的交织降低了工程实际效能，而现有研究多是罗列对策，却少了系统分析。本文旨在探究各阶段问题的内在联系并识别根源性问题，意图推动整体改善。

1.2 研究意义

河道治理工程设计水工、水文、地质等多专业领域，产生的各类问题因素互相关联，也互相制约。将网络层次分析法（ANP）引入这一领域，可以更准确地刻画问题要素之间的复杂关系。将 ANP 法的应用从方案评价拓展到问题诊断层面，为河道治理设计阶段的问题分析提供一种新的方法论工具。本文将通过上述方法梳理出关键问题，对于合理分配有限的改进资源、提高治理成效具有现实意义。

1.3 文献综述

关于河道治理设计问题，已有研究指出地质勘察是设计基础，但勘察深度不足普遍存在[1]；另有研究从宏观层面归纳了过度治理、侵占河道、重建轻管、制度缺失及技术力量薄弱等问题。生态理念方面，有学者以具体河流为例探讨了生态设计路径和生态水工学实践[2-3]。在系统工程方法上，霍尔三维结构被用于构建水利水电工程风险评估体系[4]；网络层次分析法（ANP）已应用于施工安全风险分析及河道生态治理评价[5]。尽管单项研究已有积累，但将 ANP 系统性地应用于河道治理设计阶段问题结构分析的整合性研究尚不多见。

【作者简介】李健圣（1996–），男，中国湖北宜昌人，硕士研究生，工程师，从事建设项目管理研究。

2 问题分析与建模

2.1 河道治理设计阶段问题的系统特征

河道治理设计受勘察、水文、生态、土地、投资、施工等多重因素相互影响：勘察误差导致设计偏差，施工困难又反向要求修改，形成交织关联。问题沿“规划—勘察—设计—施工”传导，前序决定后续，任一环节失误引发连锁效应。施工中暴露的地质问题引发设计变更，变更往往揭示前期勘察不足，使问题呈网络化而非线性结构。网络分析（ANP）法是在层次分析（AHP）法的基础上提出来的。网络分析法取消了同层元素之间相互独立且元素之间不存在反馈关系的假设，以扁平化、网络化的方式表示元素间的相互关系，允许元素间相互影响和反馈，用于解决复杂的非线性系统问题，更加符合现实的问题决策。

2.2 基于霍尔三维结构的问题分布梳理

霍尔三维结构是系统工程中用于系统分析的一种经典框架，将系统描述为时间维、逻辑维、知识维三个维度。本文借用其时间维的逻辑，将河道治理工程的全寿命周期划分为 5 个阶段，并梳理各阶段存在的主要问题：

规划阶段：规划上报时间紧，治理标准缺乏针对性。

勘察阶段：勘察工作深度不足，水文站稀少、泥沙资料匮乏。

设计阶段：生态理念缺失、方案单一、与规划脱节。

施工阶段：设计变更频繁，建设单位参与度低。

运行阶段：重建轻管

问题并非均匀分布在各个阶段。勘察、设计阶段的问题最为集中，且它们的影响会向下游传导。

2.3 基于 ANP 的问题网络结构模型

2.3.1 问题要素的选取

结合前述文献及实际工程项目经验，本文选取河道治理设计阶段的 10 个关键问题要素，并依照勘察层、设计层、实施层三个主要方面分类：

（1）勘察层（包含 S_1、S_2、S_3）：要素 S_1：勘察设计单位技术薄弱；要素 S_2：地质勘察深度不足；要素 S_3：基础水文资料缺少，深度无法完全覆盖。

（2）设计层（包含 S_4、S_5、S_6、S_7、S_8）：要素 S_4：与治理规划脱节；要素 S_5：生态理念认识不足；要素 S_6：过度强调防洪、忽视生态功能；要素 S_7：设计方案缺乏系统考量；要素 S_8：现场调查分析深度不够。

（3）实施层（包含 S_9、S_{10}）：要素 S_9：设计方案与国土部门土地规划产生冲突；要素 S_{10}：建设单位参与度低，易导致发生设计变更。

2.3.2 ANP 网络结构的构建

ANP 的网络结构与 AHP 的递阶层次结构不同，它允许各要素之间存在双向的反馈关系。本文识别出以下几条关键的反馈回路：

（1）要素 S_{10} 反馈导向至要素 S_2。施工过程中遇到的地质问题与设计图纸不符，往往需要补充勘察，这是从实施层向勘察层的反馈。

（2）要素 S_9 反馈导向至要素 S_7。设计方案因占用基本农田无法获批，倒逼设计单位重新调整方案，这是从实施层向设计层的反馈。

（3）要素 S_6 与要素 S_5 之间相互强化。过度强调防洪的设计实践会固化“重工程轻生态”的理念惯性，而这种理念则催生更多硬质化的设计方案。

勘察层三个要素（S_1、S_2、S_3）影响设计层五个要素（S_4~S_8）；设计层影响实施层两个要素（S9、S10）；实施层通过反馈箭头反向影响勘察层和设计层；同一层内部各要素之间也存在相互影响（如 S5 与 S6 之间的相互强化）。

2.3.3 超矩阵的构建思路

ANP 通过超矩阵（Super Matrix）来量化各要素之间的相互影响权重。假设网络层有 n 个要素，超矩阵 W 是一个 $n \times n$ 的矩阵，其中每个元素 W_{ij} 表示第 i 个要素对第 j 个要素相对重要性。

超矩阵的一般形式为：

$$W=\begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1N} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{N1} & W_{N2} & \cdots & W_{NN} \end{bmatrix}$$

本文模型超矩阵为：

$$W=\begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} \end{bmatrix}$$

$C_1*C_1=W_{11}$；$C_2*C_1=W_{21}$；$C_3*C_1=W_{31}$；

$C_1*C_2=W_{12}$；$C_2*C_2=W_{22}$；$C_3*C_2=W_{32}$；

$C_1*C_3=W_{13}$；$C_2*C_3=W_{23}$；$C_3*C_3=W_{33}$。

其中，C_1、C_2、C_3 分别代表勘察层、设计层、实施层；W_{ij} 表示第 j 层要素对第 i 层要素的影响权重。

权重数据的获取通常需要通过专家打分（采用 1-9 标度法，邀请水利工程、生态环保、城乡规划等领域的专家对各要素之间的两两影响程度进行判断），然后用 Super Decisions 软件进行超矩阵的求解和极限运算。

2.4 基于工程经验的问题影响关系分析

本文中所用方法是按专家意见作定性或半定量的关联分析。

勘察层对设计层：地质勘察作为设计的前提，S_2（勘察不够深入）就可能有设计参数的错误，防洪堤基础未必可靠；S_3（水文材料缺乏）使输沙量一类数据要靠估算取得；S_1（设计力量不强）是基本性困难，若设计单位无足够技术，所做成果的质量难予保证。

设计层对实施层：所设计的问题一般要落实到施工上。若没有将 S_7（土地政策作整体分析），基本农田就可能被侵犯，项目有停滞或须修改的危险；S_8（现场查证工作太浅），设计所指的困难未必真实，S_{10}（建设单位未作配合），对设计不熟悉，遇到问题即要变更方案。

有关实施层对勘察、设计两者的反馈：S_{10}（施工所遇

频繁设计变更）是前期勘察不够的标志，因而有“发现问题追溯源头”类的反馈；S_9（土地征用不易）迫使设计者回头考虑、修改方案。

所以综上所述，要素 S_1（单位能力不够）及要素 S_2（勘察深度不够）都属于“驱动型”类要素，其所受反馈较少，所以此时应把勘察能力当作优先建设目标。不过如不将 $S_{10} \rightarrow S_2$ 与 $S_9 \rightarrow S_7$ 两路反馈切断，由上而下的改进也许会因下层反馈而失效。

3 模型求解与结果分析

3.1 超矩阵求解的逻辑框架

基于第 2.3 节构建的 ANP 网络结构，超矩阵的求解遵循以下步骤：

（1）构造判断矩阵。邀请专家对各层面、各要素之间的两两影响程度进行打分。通常采用 Saaty 提出的 1-9 标度法：1 表示“同等重要”，3 表示“稍微重要”，5 表示“明显重要”，7 表示“强烈重要”，9 表示“极端重要”，2、4、6、8 为中间值。

（2）计算局部权重向量。对每个判断矩阵进行一致性检验（一致性比率 CR ＜ 0.1 为可接受），计算各判断矩阵的最大特征值对应的特征向量，作为局部权重向量。

（3）构造未加权超矩阵。将各局部权重向量填入超矩阵的相应位置。

（4）构造加权超矩阵。对未加权超矩阵进行列归一化处理。

（5）计算极限超矩阵。对加权超矩阵进行幂运算，直至收敛。收敛后的极限超矩阵中，各列的数值趋于一致，即为各要素的全局权重。

上述计算可通过 Super Decisions 软件完成。

3.2 结果讨论

基于第 2.4 节分析和 ANP 网络逻辑，可从两方面讨论模型结果：

（1）全局权重排序的政策含义。全局权重越高，要素越处于“源头”或“枢纽”位置，干预后系统改善效应越大。S_2（地质勘察深度不足）和 S_1（单位能力不足）应位居前列，因勘察是设计基础，设计单位能力决定勘察与设计整体质量，下游设计与施工难有根本改善。S_7（设计方案缺乏系统考量）和 S_4（与治理规划脱节）应处中间位置，既受上游勘察质量制约，又直接影响下游实施效果，属“中介”环节。S_9（土地矛盾）和 S_{10}（设计变更）全局权重可能不及上游，但它们是反馈回路起点（$S_{10} \rightarrow S_2$、$S_9 \rightarrow S_7$），若不处理，将持续侵蚀上游改善成效。

（2）反馈回路的意义。若采用 AHP 递阶结构，易得出“加强勘察能力即可解决所有问题”的线性结论；而 ANP 网络分析揭示，由于存在 $S_{10} \rightarrow S_2$ 和 $S_9 \rightarrow S_7$ 反馈，实施层的改善（如提高建设单位参与度、提前协调土地）同样能反向促进勘察与设计层提升。这意味着对策不应是“先上游后下游”的线性推进，而应“上游驱动＋下游反馈”双向发力。加强勘察能力固然必要，但若不同时建立机制减少设计变更、提前化解土地矛盾，上游改善效果将被下游持续反馈所削弱，治理整体效能亦难以持续。

（3）网络角色划分。基于 ANP 的分析逻辑，可以将 10 个问题要素划分为三种网络角色：驱动型：对其他要素影响大，受其他要素影响小（S_1、S_2）；中介型：既受上游影响，又影响下游（S_4、S_5、S_6、S_7、S_8）；结果型：受上游影响大，对上游反馈影响也大（S_9、S_{10}）。

3.3 对研究问题的回应

这些分散问题是否存在内在联系和根源性要素？基于 ANP 模型分析，得出以下三点判断：

（1）问题通过“勘察→设计→实施→反馈”路径形成网络化系统。勘察阶段的地质深度不足、单位能力薄弱等问题向下传导，影响设计方案的系统性与可行性，进而制约施工实施；而施工中的设计变更、土地矛盾又会通过反馈回路反向影响勘察和设计，形成双向关联。

（2）确实存在根源性要素，即要素 S_2（地质勘察深度不足）和要素 S_1（勘察设计单位能力不足），它们位于上游，对下游影响最为广泛深远。

（3）但根源不等于唯一，反馈回路的存在使实施层问题（如土地矛盾、设计变更）持续侵蚀上游改善成果。因此，有效策略应是“上游治本、下游治标、双向发力”，既要强化勘察能力，也要切断反馈回路。

4 结论

本文运用网络层次分析法（ANP），系统分析了云南省河道治理工程设计阶段的问题。结论如下：问题呈网络化结构，勘察、设计、实施间既存在自上而下的传导，也存在自下而上的反馈——设计变更暴露勘察不足，土地矛盾倒逼设计调整。地质勘察深度不足与设计单位能力薄弱是“驱动型”要素，处于优先干预位置，与已有研究一致。因此，解决策略不应线性推进，而应“上游驱动+下游反馈”双向发力：加强勘察能力，同时切断反馈回路，减少设计变更、化解土地矛盾。

参考文献

[1] 朱勇.云南省中小河流治理地勘工作存在的问题及对策[J].中国水利,2018,(14):52-53.

[2] 毛明雄.生态理念融入中小河流治理工程设计[J].云南水力发电,2023,39(11):13-17.

[3] 闵凤阳,黎礼刚,王家生,等.云南省中小河流生态治理的探索与思考——以景洪市勐养河为例[C]//中国水利学会.中国水利学会2016学术年会论文集（上册）.河海大学出版社（Hohai University Press）,2016:428-431.

[4] 李芬花,纪昌明,赵守和.水利水电工程霍尔三维结构图的研究[J].水利水电技术,2006,(12):27-29.DOI:10.13928/j.cnki.wrahe.2006.12.009

[5] 游涛,吴雨晴,李海交,等.网络分析法在水利工程施工安全风险分析中的应用[J].科技资讯,2017,15(8):109-111.DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2017.08.109..