

引用格式: 陆云才, 程冰清, 窦铁生, 等. 基于价值工程的全生命周期输水管材比选方法研究[J]. 中国材料进展, 2026, 45(5): 440-447.

LU Y C, CHENG B Q, DOU T S, *et al.* Study on Life-Cycle Comparison and Selection Method of Water Transmission Pipes Based on Value Engineering[J]. Materials China, 2026, 45(5): 440-447.

## 基于价值工程的全生命周期输水管材比选方法研究

陆云才<sup>1</sup>, 程冰清<sup>2</sup>, 窦铁生<sup>2</sup>, 李 萌<sup>2</sup>, 罗纬邦<sup>1</sup>, 董晓农<sup>2</sup>

(1. 新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司, 新疆 乌鲁木齐 830063)

(2. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

**摘要:** 输水管材选型面临环境特殊性、管材性能与成本之间的多重矛盾, 管材选型直接影响工程投资成本、运行安全和工程效益。传统管材比选方法往往侧重于管材初始投资成本, 而忽视了管材在整个生命周期内成本与性能的综合考量。为解决这一关键问题, 引入价值工程理论, 旨在构建一套系统化的输水管材全生命周期比选模型。该模型贯通了管材从生产、运输、建设安装、运行维护直至报废处置的全生命周期成本核算体系, 量化了各阶段长期影响因素下的成本构成, 尤其是漏损、能耗等隐性长期成本。同时, 根据工程特点, 创新性地将管材安全性、可靠性、耐久性等关键性能指标与全生命周期成本在同一维度上进行综合评价。以典型工程为例, 对钢管(SP)、球墨铸铁管(DIP)、预应力钢筒混凝土管(PCCP)及混凝土保护层预应力钢筒混凝土管(PCCP-C)等常用管材进行实证分析。结果表明, 该模型能有效甄别出全生命周期价值最优的管材, 该方法突破“初始投资成本优先”的传统思维, 实现输水管材技术性能与经济性的平衡, 为类似工程在管材选择和投资优化方面提供科学依据。

**关键词:** 价值工程; 全生命周期成本分析; 输水管材; 比选模型; 性能评价; 成本效益分析

**中图分类号:** TV672+.2; X322 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-3962(2026)05-0440-08

## Study on Life-Cycle Comparison and Selection Method of Water Transmission Pipes Based on Value Engineering

LU Yuncai<sup>1</sup>, CHENG Bingqing<sup>2</sup>, DOU Tiesheng<sup>2</sup>, LI Meng<sup>2</sup>, LUO Weibang<sup>1</sup>, DONG Xiaonong<sup>2</sup>

(1. Xinjiang Water conservancy and Hydropower Survey Design Institute Corporation Limited, Urumqi 830063, China)

(2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** The selection of water transmission pipes involves multiple contradictions, such as the specific environmental conditions, the balance between material performance and cost. The choice of pipes directly affects the project investment cost, operational safety and overall project benefits. Traditional pipes comparison and selection methods often focus on the initial investment cost while neglecting a comprehensive consideration of the material's cost and performance throughout its life-cycle. To address this critical issue, value engineering theory is introduced with the aim of constructing a systematic life-cycle comparison and selection model for water transmission pipes. The model integrates a life-cycle cost (LCC) accounting system for pipes, covering the entire life-cycle from production, transportation, construction and installation, operation and maintenance to decommissioning and disposal. It quantifies the cost components influenced by long-term factors at each stage, with particular focus on hidden long-term costs such as water leakage and energy consumption. Meanwhile, based on the characteristics of the project, key performance indicators such as safety, reliability and durability of the pipelines are innovatively evaluated in the same dimension as the life-cycle cost. Using a typical project as a case study, an empirical analysis was conducted on commonly used pipelines, including steel pipe (SP), ductile iron pipe (DIP), prestressed concrete cylinder pipe (PCCP) and concrete-cover prestressed concrete cylinder pipe layer (PCCP-C). The results show that this model can effectively identify the pipe with the optimal life-cycle "value".

收稿日期: 2025-09-04 修回日期: 2025-09-30

基金项目: 水利部重大科技项目(SKS-2022111); (红山科创英才)青年拔尖人才项目(B241013003); 新疆战略人才-卓越工程师项目(XJRC-2025-GX-PY-GCS-005)

第一作者: 陆云才, 男, 1986年生, 正高级工程师

通讯作者: 程冰清, 女, 1994年生, 博士后,

Email: chengbq@iwahr.com

DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.202509004

This method breaks through the traditional mindset of “initial investment cost priority” and achieves a balance between the technical performance and economic efficiency of water transmission pipes, providing a scientific basis for material selection and investment optimization in similar projects.

**Key words:** value engineering; life-cycle cost analysis; water transmission pipes; comparison and selection model; performance evaluation; cost-benefit analysis

### 1 前 言

在城市供水、跨区域调水等水利工程领域，输水管道作为水资源输送的核心载体<sup>[1]</sup>，其安全、稳定、高效运行直接关系到区域水资源的合理配置与居民生活、工业生产的正常开展。随着水利工程建设规模的不断扩大以及对输水安全性、经济性要求的日益提高，输水管材安全性在复杂环境下面临严峻挑战，如土壤含盐过高、杂散电流和荷载变化等因素长期作用下，管道会产生物理、化学、电化腐蚀等风险，进而引发钢丝腐蚀、管道穿孔、爆管等故

障，甚至危及工程安全，如图 1 所示。输水管材选择不仅直接影响工程的经济性和投资效益，而且影响输水系统的运行效率、服役寿命及安全稳定<sup>[2,3]</sup>。我国地域广袤，不同地区在自然条件、地形地质及经济发展状况等方面存在显著差异，这使得输调水工程中管材的选用呈现多样化特点<sup>[4]</sup>。随着我国长距离输水工程建设规模的不断扩大<sup>[5]</sup>，如何实现输水管材技术性能与经济性的最优平衡是困扰工程师的技术难题。本研究聚焦全生命周期视角下管材比选问题，对提高长距离输水工程的建设质量，保障输水系统的长期稳定运行具有重大意义。

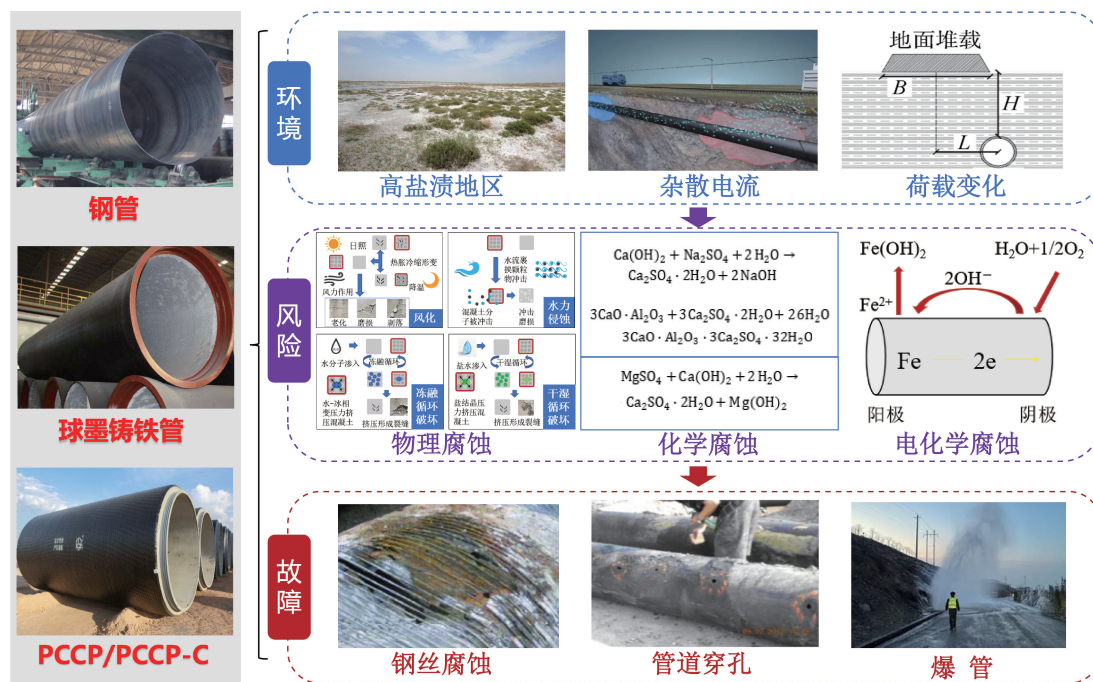


图 1 输水管材面临挑战示意图

Fig. 1 Schematic diagram of challenges faced by water transmission pipes

由于管材造价通常超过工程总投资的一半<sup>[6,7]</sup>，选择合适的管材尤为重要，需综合考虑设计压力、运行工况、环境条件、地质特征等多重因素<sup>[8,9]</sup>。目前，已有部分学者开始关注长距离输水工程中管材的经济技术评价问题，并开展了相关研究。李江等<sup>[10]</sup>根据新疆地区极端严寒、高地震、泥沙含量高、侵蚀类型多的复杂环境条件，分析了输水管道安全防护中存在的问题，指出了水锤防护和在线监测对于长距离输水工程的重要性。令志强等<sup>[11]</sup>针对喀斯特山区地质地貌导致的山区人畜安全

饮水无法保证的问题，建立了输水管材经济性评价矩阵，结合价值工程原理对输水管材进行比选。陈莹等<sup>[12]</sup>基于技术经济学原理，从技术经济评价的视角出发，筛选了适用于水文水并成井的管材类型。杨春雁<sup>[13]</sup>以新疆某开发区工程为实例，对输水管道的优化设计展开研究，采用对比分析方法选取最优管材参数和配管方案。陈洪松<sup>[14]</sup>针对贵州地区村镇供水工程特点，结合常用管材性能，对管材选择影响因素进行分析，建议村镇供水工程输水管线管材选择时应考虑适用性、采购难易程度、应

用广泛性等因素。Alberto 等<sup>[15]</sup>从管材的适用性、管壁厚度设计、浪涌防护及瞬态压力控制等方面展开研究,系统探讨了输水干线管材的优选方法。Giaccobi 等<sup>[16]</sup>将生命周期评估与层次分析法相结合,建立了建筑给排水系统中管材适用性评价与选择的综合模型。Anojkumar 等<sup>[17]</sup>应用 4 种多准则决策方法,解决了制糖工业中管材的选取问题。王蒙<sup>[18]</sup>借助层次分析法与模糊评价法,完成了农田灌溉工程中管材的选型分析。当前管材比选方法多偏重于初始投资成本的考量,对全生命周期内的运维成本、泄漏失效风险成本及报废处理成本等关键要素关注不足。与此同时,现有研究常以具体工程案例的选管分析为核心,导致评价指标体系尚不完善,难以对不同管材全生命周期的经济性与安全性进行有效评估。

价值工程强调在满足必要功能的前提下,尽可能降低成本,实现价值最大化<sup>[19]</sup>。而全生命周期成本理论则能全面覆盖管材从生产、运输、建设、运行使用到最终报废拆除的整个过程中的成本。将价值工程与全生命周期成本理论相结合,应用于输水管材的比选评价,有望突破传统方法的局限。因此,本文基于价值工程原理和全生命周期成本分析理论,开展全生命周期输水管材比选研究,通过构建科学的全生命周期管材比选模型,综合考量输水管材的全生命周期成本与功能性,旨在为工程实践中管材选择提供一套科学且实用的方法,以提升输水工程的建设质量与全生命周期效益。

## 2 基于价值工程的全生命周期输水管材比选

### 2.1 管材全生命周期成本量化方法

全生命周期成本分析(life cycle cost analysis, LCCA)作为一种全面且系统的成本评估方法<sup>[20]</sup>,可对管材整个生命周期内所涉及的成本进行分析与量化。管材全生命周期成本主要由管材到场费用( $C_i$ )、建设安装费用( $C_m$ )、运行维护成本( $C_f$ )和报废处置成本( $S$ )这 4 个关键要素构成。这些要素贯穿于长距离输水管材从生产、运输、建设、运行使用到最终报废拆除的整个生命周期,对管材的经济性和工程的整体效益有着重要影响。输水管材全生命周期成本计算如式(1)所示<sup>[21]</sup>:

$$LCC = C_i + C_m + \sum_{t=1}^n \frac{C_f}{(1+r)^t} - \frac{S}{(1+r)^n} \quad (1)$$

式中: $r$ 为折现率, $n$ 为设计寿命。

管材到场费用涵盖管材本体、厂内防腐处理、交通运输等费用。管材本体和厂内防腐处理费用应通过询价与具体单价分析确定,交通运输费用应根据实际运输条件确定。若运输费用受距离、运输方式等因素影响波动较大,可单独进行详细分析,以确保费用核算的精准性。

另外,高盐渍地区需着重考量管材的防腐性能,需进行不同管材防腐材料比选。不同类型的管材由于材质、生产工艺、市场供需等因素的影响,管材到场费用差异较大。

建设安装费用是输水管线工程总投资的核心组成部分,涵盖从管材进场到完成安装、具备通水条件的全流程支出,需充分考量不同管材因施工安装方法差异对单价产生的影响。通过对比分析不同安装工艺的人工、机械投入及施工效率,或者直接依据选定的施工安装方法,合理确定各类管材的安装单价。同时,需进行回填料及施工成本评估,制定管沟断面设计方案,合理选择满足管材回填料要求的料场,因地制宜地确定料场开采和加工方案,分析每种管材配套回填料的施工单价,综合评估料场运距、运输方式以及具体施工方案对回填料成本的影响,确保管材建设安装成本构成的完整性和合理性。

运行维护成本指输水管材投入使用后,为保障其持续、稳定、安全输水,在整个运行周期内产生的各类常态化维护与突发事故处理支出,这些费用在输水工程的运营过程中持续产生,对工程的长期经济效益有着重要影响。能耗是运行成本的主要组成部分,主要来自于泵站的电能消耗。泵站需要消耗电能来克服管道的阻力,将水输送到目的地。不同管材的水力性能不同,水流阻力也不同,从而导致能耗差异较大。漏水损失也是运行成本的重要组成部分。由于管道老化、腐蚀、施工质量等原因,输水过程中可能会出现漏水问题,导致水资源的浪费和经济损失。维护成本包括定期检查、阴极保护和维修等费用,是确保输水管道长期稳定运行的必要支出。

报废处置成本包括拆除费和回收利用费用,是输水管道在使用寿命结束后需要考虑的成本因素。拆除费用主要用于将报废的管道从地下拆除,包括人工费用、拆除设备的租赁费用等。不同管材的拆除难度不同,拆除费用也存在差异。回收费用主要用于对报废管材进行回收和处理,包括运输到回收场地的费用、回收处理的费用等。

### 2.2 全生命周期输水管材比选模型

#### 2.2.1 全生命周期管材比选评价指标体系建立

输水管材全生命周期成本应涵盖工程从管材生产运输,到建设安装阶段的各项投入成本,再到运营维护阶段的持续支出,直至报废拆除阶段的处置费用,形成一个完整的成本核算链条。根据输水管材生命周期成本构成,构建全生命周期管材比选评价指标体系,如图 2 所示。该体系分为 3 层:目标层、指标层和影响因素层。指标层按照管材全生命周期成本分为管材到场费用、建设安装费用、运行维护成本和报废处置成本,在此基础上确定 24 项评价影响因素。

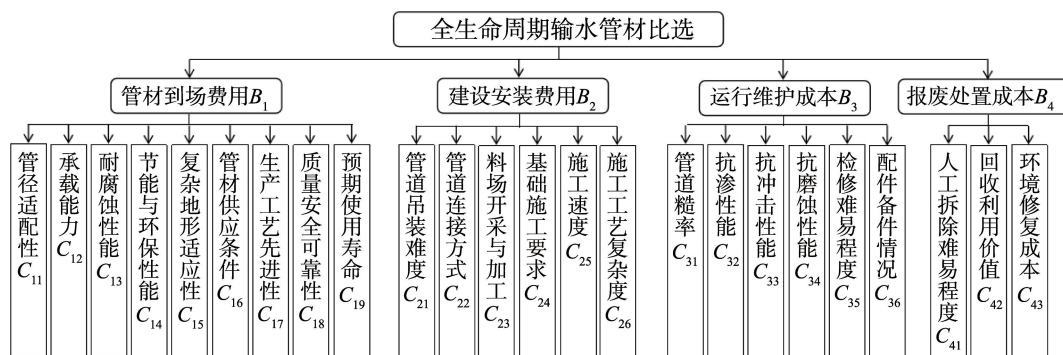


图2 全生命周期管材比选指标层次模型

Fig. 2 Hierarchical model for life-cycle comparison and selection indicators of pipes

各评价因素在管材比选中的重要程度差异较大，其权重系数表征了相应指标在评价体系中的相对重要性，对综合评价结果起着决定性作用。为科学确定各指标的权重，引入层次分析法进行分析，具体步骤如下。

(1) 指标层权重计算：邀请专家采用1~9标度法，对4个指标层相对于总目标的重要性进行两两比较，构建4阶判断矩阵。计算该矩阵的特征向量，并通过一致性检验后，进行归一化处理，最终确定指标层的权重向量  $B=[B_1 B_2 B_3 B_4]$ 。

(2) 影响因素层权重计算：在上述基础上，专家分别针对每一个指标层指标，采用1~9标度法，对其所属的影响因素层指标进行两两比较，构建相应的判断矩阵（包括9阶、6阶、6阶和3阶各一个）。计算各矩阵的特征向量，通过一致性检验并进行归一化处理后，得到各指标层的局部权重向量： $C_1=[C_{11} C_{12} \dots C_{19}]$ 、 $C_2=[C_{21} C_{22} \dots C_{26}]$ 、 $C_3=[C_{31} C_{32} \dots C_{36}]$ 和  $C_4=[C_{41} C_{42} C_{43}]$ 。

2.2.2 全生命周期管材比选综合评价

价值工程是通过对选定研究对象的功能及费用进行分析，提高研究对象的价值<sup>[22]</sup>。其“价值”体现为研究对象所具备功能与费用的比值，这种对比关系可表示为<sup>[23]</sup>：

$$V = F/C \tag{2}$$

式中： $V$ 为研究对象的价值系数， $F$ 为研究对象的功能（量化为目标成本）， $C$ 为研究对象的成本（量化为现实成本）。基于价值工程原理，对输水管材的全生命周期成本与功能实现程度进行量化和分析，通过价值系数判断管材经济性与功能性的综合最优解。

3 工程实例

3.1 工程概况

新疆某长距离引水调水工程位于新疆戈壁、荒漠区，设计年引水量为  $4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，设计引水流量为  $22 \text{ m}^3/\text{s}$ ，为大(2)型(II等)工程。工程管线沿线土体和地下水中  $\text{Cl}^-$

和  $\text{SO}_4^{2-}$  含量较高，且分布无规律，以轻度~中度腐蚀性为主。从减少弃渣、节省工程投资方面考虑，管沟回填料尽量采用管沟开挖料进行回填，在开挖料不足或不满足要求时，采用料场开采料回填。工程对外物资运输主要依靠公路运输，工程拟通过新建管厂供应预应力钢筒混凝土管（prestressed concrete cylinder pipe, PCCP）和混凝土保护层预应力钢筒混凝土管（concrete-cover prestressed concrete cylinder pipe, PCCP-C），通过购买获取球墨铸铁管（ductile iron pipe, DIP）成品管道，通过建厂加工形式供应钢管（steel pipe, SP）。本文以该工程为例，采用输水管材全生命周期成本评价方法进行管材比选。

3.2 管材类型

根据该工程需求和特点，可匹配的输水管材有：SP、DIP、PCCP、PCCP-C等，主要特性如表1所示<sup>[24-28]</sup>。

3.3 基于价值工程原理管材全周期综合比选

3.3.1 全生命周期成本计算

对不同管材全生命周期成本进行计算，管材到场费用根据厂商报价及类似工程项目询价结果确定，建设安装、运行监管成本参考已建工程取值<sup>[29]</sup>，报废处置成本参考其它文献取值<sup>[30]</sup>，该方法适用于多数管道类型和管道规格。为确定设计寿命为50 a的管材全生命周期成本，本文选取DN2600与DN3200的计算结果作为范例，如表2所示，以验证所提方法的适用性。

3.3.2 功能指数计算和功能指标评分

采用2.2.1节中提到的层次分析方法确定一、二级指标后，通过专家打分结果计算一、二级指标对应权重，然后综合考虑一、二级指标权重影响，计算管材各功能的综合评分，即功能指数，计算结果见表3。

通过单位总工办5名专家组对4种管材各功能指标实现程度进行打分，采用10分制（10分为完全满足功能目标），管材各功能指标得分汇总（取算术平均值）如表4所示。

表 1 常用长距离输水工程的管材特性<sup>[24-28]</sup>Table 1 Characteristics of pipes for common long-distance water conveyance projects<sup>[24-28]</sup>

Performance indicator	Steel pipe (SP)	Ductile iron pipe (DIP)	Prestressed concrete cylinder pipe (PCCP)	Concrete-cover prestressed concrete cylinder pipe (PCCP-C)
Material composition	Steel	Ductile iron	Steel cylinder, concrete, prestressed wires, mortar coating	Steel cylinder, concrete, prestressed wires, thickened concrete coating
Self-weight	Light	Heavy	Heavy	Heavy
Diameter/m	0.1~4.0	0.3~2.6	0.5~4.0	0.5~4.0
Length per segment/m	9, 12	6, 8, 15, 9	5, 6	12
Expected service life/years	<25	50	≥50	≥50
Pressure capacity	Strongest	Strong	Strong	Strong
Joining method	Welding, flanged joint, bell & spigot joint	Push-in flexible joint, mechanical joint, restrained joint, flanged joint	Flexible bell & spigot joint, gasket sealed	Flexible bell & spigot joint, gasket sealed
Manning's roughness coefficient	0.010~0.012	0.010~0.012	0.012	0.012
Construction process	Complex	Simple	Simple	Simple
Corrosion resistance	Fair	Good	High	High
Corrosion protection	Requires costly coating	Coating needed, better than SP	High, but mortar vulnerable if damaged	High (abrasion/corrosion)

表 2 管材全生命周期成本计算结果 ( $n=50$  a)Table 2 Calculation results of total life cycle cost of pipes ( $n=50$  a)

Pipe type	Diameter/mm	Pipe arrival cost/(¥/m)	Construction & installation cost/(¥/m)	Operation & maintenance cost/(¥/m)	End-of-life disposal cost/(¥/m)	Discount rate/ $r$	Life-cycle cost ( $n=50$ a)/(¥/m)
SP		18 693	11 739.3	450	44	0.06	37 522.75
PCCP	DN3200	11 101	12 573.4	550	0	0.06	32 343.42
PCCP-C		11 833	13 519.4	550	0	0.06	34 021.42
SP		13 823	8 763.8	450	44	0.06	29 677.25
DIP	DN2600	13 166	8 399	10	149	0.06	21 714.53
PCCP		8 057	9 458.1	550	0	0.06	26 184.12
PCCP-C		8 697	10 193.1	550	0	0.06	27 559.12

表 3 管材各功能指数计算结果

Table 3 Calculation results of functional indices for pipes

Criterion layer	Criterion layer indicator weight	Sub-criterion layer	Sub-criterion layer indicator weight	Function index
Pipe arrival cost ( $B_1$ )	0.40	Diameter compatibility ( $C_{11}$ )	0.15	0.06
		Load-bearing capacity ( $C_{12}$ )	0.14	0.06
		Corrosion resistance ( $C_{13}$ )	0.15	0.06
		Energy efficiency & environmental performance ( $C_{14}$ )	0.07	0.03
		Adaptability to complex terrain ( $C_{15}$ )	0.11	0.04
		Material supply conditions ( $C_{16}$ )	0.08	0.03
		Production process advancement ( $C_{17}$ )	0.05	0.02
		Reliability in quality and safety ( $C_{18}$ )	0.13	0.05
		Expected service life ( $C_{19}$ )	0.12	0.05

续表

Criterion layer	Criterion layer indicator weight	Sub-criterion layer	Sub-criterion layer indicator weight	Function index
Construction & installation cost ( $B_2$ )	0.32	Pipeline hoisting difficulty ( $C_{21}$ )	0.09	0.03
		Pipeline joining method ( $C_{22}$ )	0.14	0.04
		Quarry mining and processing ( $C_{23}$ )	0.18	0.06
		Foundation construction requirements ( $C_{24}$ )	0.21	0.07
		Construction speed ( $C_{25}$ )	0.16	0.05
		Construction process complexity ( $C_{26}$ )	0.22	0.07
Operation & maintenance cost ( $B_3$ )	0.24	Pipeline roughness coefficient ( $C_{31}$ )	0.18	0.04
		Impermeability/seepage resistance ( $C_{32}$ )	0.20	0.05
		Impact resistance ( $C_{33}$ )	0.18	0.04
		Abrasion/erosion resistance ( $C_{34}$ )	0.13	0.03
		Ease of inspection and maintenance ( $C_{35}$ )	0.21	0.05
End-of-life disposal cost ( $B_4$ )	0.04	Availability of fittings and spare parts ( $C_{36}$ )	0.10	0.02
		Ease of manual demolition ( $C_{41}$ )	0.25	0.01
		Recycling value ( $C_{42}$ )	0.5	0.02
		Environmental remediation cost ( $C_{43}$ )	0.25	0.01

表 4 管材各功能指标得分汇总

Table 4 Summary of functional indicator scores for pipes

Criterion layer	Sub-criterion layer	SP	DIP	PCCP	PCCP-C
Pipe arrival cost ( $B_1$ )	Diameter compatibility ( $C_{11}$ )	9	7	9	9
	Load-bearing capacity ( $C_{12}$ )	8	9	9	9
	Corrosion resistance ( $C_{13}$ )	5	7	6	7
	Energy efficiency & environmental performance ( $C_{14}$ )	4	4	7	7
	Adaptability to complex terrain ( $C_{15}$ )	6	9	8	8
	Material supply conditions ( $C_{16}$ )	9	5	8	8
	Production process advancement ( $C_{17}$ )	8	8	7	8
	Reliability in quality and safety ( $C_{18}$ )	8	8	7	8
	Expected service life ( $C_{19}$ )	4	8	8	8
Construction & installation cost ( $B_2$ )	Pipeline hoisting difficulty ( $C_{21}$ )	7	7	5	5
	Pipeline joining method ( $C_{22}$ )	4	8	8	8
	Quarry mining and processing ( $C_{23}$ )	5	8	8	8
	Foundation construction requirements ( $C_{24}$ )	5	8	8	8
	Construction speed ( $C_{25}$ )	5	8	8	8
	Construction process complexity ( $C_{26}$ )	4	8	8	8
Operation & maintenance cost ( $B_3$ )	Pipeline roughness coefficient ( $C_{31}$ )	7	7	7	7
	Impermeability/seepage resistance ( $C_{32}$ )	8	6	8	8
	Impact resistance ( $C_{33}$ )	9	8	9	9
	Abrasion/erosion resistance ( $C_{34}$ )	5	8	7	7
	Ease of inspection and maintenance ( $C_{35}$ )	9	7	6	6
End-of-life disposal cost ( $B_4$ )	Availability of fittings and spare parts ( $C_{36}$ )	10	9	6	6
	Ease of manual demolition ( $C_{41}$ )	7	6	4	4
	Recycling value ( $C_{42}$ )	9	7	5	5
	Environmental remediation cost ( $C_{43}$ )	8	7	5	5

3.3.3 价值系数计算

根据价值工程原理，每种管材成本系数为各管材全

生命周期成本与各管材全生命周期成本总和之比。表 5 和表 6 分别列出了各管材(设计压力 0.6~0.8 MPa)在

DN3200 和 DN2600 规格下的成本系数与价值系数分析结果。

表 5 管材成本系数与价值系数分析结果(0.6~0.8 MPa, DN3200)  
Table 5 Analysis results of cost coefficient and value coefficient for pipes (0.6~0.8 MPa, DN3200)

Pipe type	Life-cycle cost ( $n=50$ a)/ (¥/m)	Cost coefficient	Function coefficient	Value coefficient
SP	37 522.75	0.36	0.30	0.83
PCCP	32 343.42	0.31	0.35	1.11
PCCP-C	34 021.42	0.33	0.35	1.08

表 6 管材成本系数与价值系数分析结果(0.6~0.8 MPa, DN2600)  
Table 6 Analysis results of cost coefficient and value coefficient for pipes (0.6~0.8 MPa, DN2600)

Pipe type	Life-cycle cost ( $n=50$ a)/ (¥/m)	Cost coefficient	Function coefficient	Value coefficient
SP	29 677.25	0.28	0.22	0.79
DIP	21 714.53	0.21	0.26	1.25
PCCP	26 184.12	0.25	0.26	1.03
PCCP-C	27 559.12	0.26	0.26	1.00

价值系数分析表明:设计压力为 0.6~0.8 MPa 时, DN3200 管材中 PCCP 和 PCCP-C 均具优势,但 PCCP 最优; DN2600 管材中 DIP 最优。故建议该设计压力范围内,大口径管段(DN3200)优先选用 PCCP,小口径管段(DN2600)优先选用 DIP。

## 4 结 论

本研究引入价值工程原理和全生命周期成本分析方法,建立了一套适用于输水管材的全生命周期比选方法,并结合工程实例验证了模型在实际工程场景中的适用性,主要结论如下。

(1) 基于全生命周期成本分析方法,明确其构成要素为管材到场费用、建设安装费用、运行维护成本及报废处置成本。其中,管材到场费用含管材本体、厂内防腐处理与交通运输支出;建设安装费用覆盖管材进场至完成安装、具备通水条件的全流程成本;运行维护成本指运行周期内常态化维护与突发问题处理的相关支出;报废处置成本则对应管材寿命终结后的拆除与回收费用。在此基础上,通过净现值法计算各管材全生命周期成本净现值,构建了科学合理的全生命周期成本计算方法。

(2) 构建了科学且系统的全生命周期输水管材比选模型。该模型以价值工程为核心理论支撑,通过建立管材全生命周期成本评价指标体系,引入层次分析法按照

相对重要性确定各因素权重大小,将管材在整个生命周期内的功能性进行全面且精准的量化,同时结合价值工程原理对管材价值开展综合评价,解决了传统比选方法中成本考量不全面、功能评价缺乏系统性的问题,使得比选过程更具科学性与合理性。

(3) 建立的基于价值工程的全生命周期输水管材比选方法具备良好的实用性与可操作性。在工程实际应用中,能够顺利完成全生命周期成本计算、功能指数计算和功能指标评分以及价值系数计算等关键环节,通过这些计算得出的结果,可清晰、准确地对比不同类型管材的适用性。通过对全生命周期各阶段成本与功能实现程度的量化分析,实现经济效益与工程安全性的平衡。

## 参考文献 References

- [1] 高媛媛,姚建文,陈桂芳,等. 中国水利[J], 2018(4): 49-51.  
GAO Y Y, YAO J W, CHEN G F, *et al.* China Water Resources[J], 2018(4): 49-51.
- [2] 王志鹏. 陕西水利[J], 2021(7): 250-251.  
WANG Z P. Shaanxi Water Resources[J], 2021(7): 250-251.
- [3] 金朝. 工程建设[J], 2022, 54(7): 17-21.  
JIN Z. Engineering Construction[J], 2022, 54(7): 17-21.
- [4] 祖子豪. 长距离低落差引调水工程水力安全控制研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2024.  
ZU Z H. Research on Hydraulic Safety Control of Long-Distance and Low-Drop Water Diversion Project[D]. Nanchang: Nanchang University, 2024.
- [5] 杨启贵,张传健,颜天佑,等. 岩土工程学报[J], 2022, 44(7): 1188-1210.  
YANG Q G, ZHANG C J, YAN T Y, *et al.* Chinese Journal of Geotechnical Engineering[J], 2022, 44(7): 1188-1210.
- [6] 张勇,李萌,蔡戈. 项目管理技术[J], 2024, 22(8): 13-20.  
ZHANG Y, LI M, CAI G. Project Management Technology[J], 2024, 22(8): 13-20.
- [7] 叶茂林,李星星. 水利技术监督[J], 2022(8): 231-234.  
YE M L, LI X X. Technical Supervision in Water Resources[J], 2022 (8): 231-234.
- [8] 杨建新. 供水技术[J], 2016, 10(6): 59-61.  
YANG J X. Water Supply Technology[J], 2016, 10(6): 59-61.
- [9] 韦尚伯,王颖,王圃. 给水排水[J], 2024, 60(11): 124-129.  
WEI S B, WANG Y, WANG P. Water & Wastewater Engineering[J], 2024, 60(11): 124-129.
- [10] 李江,杨辉琴,金波,等. 水利水电科技进展[J], 2019, 39(5): 56-65.  
LI J, YANG H Q, JIN B, *et al.* Advances in Water Science and Hydropower Technology[J], 2019, 39(5): 56-65.
- [11] 令志强,屈月雷,尹亚敏,等. 中国农村水利水电[J], 2018(11): 127-130.  
LING Z Q, QU Y L, YIN Y M, *et al.* China Rural Water and Hydro-

- power[J], 2018(11): 127-130.
- [12] 陈莹, 吴焯, 段隆臣. 水电能源科学[J], 2013, 31(3): 4.  
CHEN Y, WU Y, DUAN L C. Water Resources and Power[J], 2013, 31(3): 4.
- [13] 杨春雁. 地下水[J], 2018, 40(5): 212-213.  
YANG C Y. Ground Water[J], 2018, 40(5): 212-213.
- [14] 陈洪松. 长江大学学报(自然科学版)[J], 2011, 8(11): 99-100.  
CHEN H S. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition) [J], 2011, 8(11): 99-100.
- [15] ALBERTO S, MUHAMMAD M, NEVILLE M, *et al.* Scarborough Trunk Watermain-Design Challenges and Pipe Material Selection [C]//Pipelines 2019: Planning and Design; Proceedings of Sessions of the Pipelines 2019 Conference. Reston: American Society of Civil Engineers, 2019.
- [16] GIACCOBI S, KROMM F X, WARGNIER H, *et al.* Materials & Design[J], 2010, 31(4): 1842-1847.
- [17] ANOJKUMAR L, ILANGKUMARAN M, SASIREKHA V. Expert Systems with Applications[J], 2014, 41(6): 2964-2980.
- [18] 王蒙. 江苏地区低压管道输水工程技术适宜性评价及模式研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2014.  
WANG M. Research on Applicability Assessment and Technology Model for Low Pressure Pipeline Irrigation Projects in Jiangsu [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2014.
- [19] 王乃静. 价值工程概论[M]. 北京: 经济科学出版社, 2006.  
WANG N J. Introduction to Value Engineering[M]. Beijing: Economic Science Press, 2006.
- [20] 李新平. 水利科学与寒区工程[J], 2025, 8(4): 137-140.  
LI X P. Hydro Science and Cold Zone Engineering[J], 2025, 8(4): 137-140.
- [21] LUO L, VAN DER VOET E, HUPPES G. Renewable and Sustainable Energy Reviews[J], 2009, 13(6/7): 1613-1619.
- [22] 郑和祥, 李和平, 郭克贞, 等. 水利学报[J], 2013(S1): 9.  
ZHENG H X, LI H P, GUO K Z, *et al.* Journal of Hydraulic Engineering[J], 2013(S1): 9.
- [23] 杨彦忠. 价值工程原理在建筑工程施工方案评价中的应用研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2014.  
YANG Y Z. Research on Value Engineering Principles Applied in Construction Scheme Evaluation of Building Engineering [D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2014.
- [24] 陈锐, 孙恕, 张敏, 等. 市政技术[J], 2025, 43(4): 204-212.  
CHEN R, SUN S, ZHANG M, *et al.* Journal of Municipal Technology [J], 2025, 43(4): 204-212.
- [25] 赖德贤. 顶管工程中顶管的计算与管材选用[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.  
LAI D X. Calculation and Selection of Pipe on Pipe Jacking Works [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.
- [26] 杨辉琴, 李江, 马军, 等. 水利规划与设计[J], 2018(10): 150-154.  
YANG H Q, LI J, MA J, *et al.* Water Resources Planning and Design [J], 2018(10): 150-154.
- [27] 中国工程建设标准化协会. 城镇供水长距离输水管(渠)道工程技术规程: CECS 193200—2005[S]. 北京: 中国计划出版社, 2006: 11-12.  
China Association for Engineering Construction Standardization. Technical Specification for Long Distance Water Transmission Pipeline Engineering of Urban Water Supply: CECS 193200—2005[S]. Beijing: China Planning Press, 2006: 11-12.
- [28] 方丽丽, 赵科智. 现代农业科技[J], 2013(5): 206-207.  
FANG L L, ZHAO K Z. Modern Agricultural Science and Technology [J], 2013(5): 206-207.
- [29] 杨军超. 水利规划与设计[J], 2022(8): 106-109+122.  
YANG J C. Water Resources Planning and Design [J], 2022(8): 106-109+122.
- [30] 郑镔, 陈锐, 孙恕, 等. 给水排水[J], 2024, 60(S1): 788-795+801.  
ZHENG B, CHEN R, SUN S, *et al.* Water & Wastewater Engineering [J], 2024, 60(S1): 788-795+801.