

水文化遗产视角下的西藏萨迦古代蓄水灌溉系统研究

邹志科^{1,2}, 杜兵杰^{1,2}, 陈金明³, 李亚龙^{1,2}, 强巴塔青⁴, 索朗次仁⁴, 顾世祥³

(1. 长江科学院 农业水利研究所, 武汉 430010; 2. 水利部长江重点实验室, 武汉 430010;

3. 云南省水利水电勘测设计研究院, 昆明 650000; 4. 日喀则市水利局, 日喀则市 857000)

摘要: 西藏萨迦古代蓄水灌溉系统是中华民族水利遗产与中华文化多元一体的重要体现, 物质文化遗产/遗存和非物质文化遗产的双重价值不可忽视。从水文化遗产的视角, 首次系统梳理了西藏萨迦古代蓄水灌溉系统的发展脉络、结构形态和管理体制, 探讨了其历史、文化、社会及生态等多重价值, 深入研究从引水到灌溉全过程中蕴含的科学规律, 集中呈现西藏萨迦古代蓄水灌溉系统的新面貌和遗产价值, 弘扬古代治水智慧。通过技术修复、社区共治、科技赋能、政策保障四维联动, 实现从“工程遗产”到“活态文化生态体”的转型。未来要通过遗址修复、社区共治、科技赋能、政策保障四位联动, 实现萨迦灌溉系统从“工程遗址”到“活态文化生态体”的转型。本研究从遗产价值挖掘、保护理念更新、创新保护机制及管理机制完善等提出了保护以可持续发展策略, 推动高原水文化的创新发展。

关键词: 萨迦灌溉系统; 结构形态; 管理体制; 水文化遗产; 遗产保护

中图分类号: S274; TV61

文献标志码: A

文章编号: 1001-5485(2026)04-0121-08

Ancient Water Storage and Irrigation System in Sakya County of Xizang Autonomous Region from Water Cultural Heritage Perspective

ZOU Zhi-ke^{1,2}, DU Bing-jie^{1,2}, CHEN Jin-ming³, LI Ya-long^{1,2}, QIANGBA Ta-qing⁴,

SORANG Tse-ring⁴, GU Shi-xiang³

(1. Agricultural Water Conservancy Department, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 2. Key laboratory of Changjiang River of Ministry of Water Resources, Wuhan 430010, China; 3. Yunnan Institute of Water and Hydropower Engineering Investigation, Design and Research, Kunming 650000, China; 4. Shigatse Municipal Water Resources Bureau, Shigatse 857000, China)

Abstract: [Objective] The ancient water storage and irrigation system in Sakya, Xizang autonomous region, listed in 2021 as a World Heritage Irrigation Structure, is a unique paradigm of high-altitude water resource management and an important testament to the diverse cultural heritage of the Chinese nation. Despite its profound value, existing research remains fragmented, and systematic studies from the perspective of water cultural heritage are particularly scarce. This study aims to fill this gap. [Methods] This study adopted a multidisciplinary approach integrating historical document analysis, field investigation, scientific principle verification, and value evaluation. First, classical Xizang texts, including *Mkhas pa'i dga'ston* and *Rgyal rabs gsal ba'i me long*, were examined to clarify the development stages and management traditions of the irrigation system. Second, field surveys were conducted to map the engineering structures (e.g., diversion weirs, reservoirs, and sluices) and to verify the current operation of the “Cuoben-Shuinv-Humin” management mechanism. Third, quantitative analysis was conducted to verify the scientific rationality of the system based on modern engineering theories such as the Bernoulli equation (potential energy conversion), Fourier's law (thermal insulation and freeze protection), and hydraulic mechanics (pressure reduction principles). Finally, a comprehensive value evaluation framework was established, integrating theories from cultural heritage studies, ecological economics, and water resource management to systematically analyze the system's tangible and intangible cultural heritage values. [Results] The development of the Sakya irrigation system experienced four key stages: 1) embryonic irrigation stage driven by nature worship during the Tubo period,

收稿日期: 2025-11-14; 修回日期: 2025-12-18; 接受日期: 2025-12-21

作者简介: 邹志科 (1990-), 男, 湖北汉川人, 副高级工程师, 博士, 研究方向为地下水流数值模拟。E-mail: zz971278375@163.com

通信作者: 李亚龙 (1976-), 男, 河北保定人, 正高级工程师, 博士, 研究方向为农村水利。E-mail: lyalong888@163.com

2) large-scale construction stage promoted by the integrated political and religious system in the Mongol-Yuan period, 3) stage of institutional innovation (e.g., a primitive “river chief system”) and ecological adaptation during the Ming-Qing dynasties, and 4) contemporary stage integrating traditional wisdom with modern technology. In terms of engineering structure, the system adopted a sophisticated “single-source, three-reservoir, sluice-regulated diversion” design, fully utilizing the local terrain for gravity-driven water conveyance without external energy input. The reservoirs were predominantly open earth-stone structures with capacities ranging from 30 000 m³ to 50 000 m³, reasonably arranged along the Chongqu River and composed of four core components: diversion weirs, channels or pipelines, reservoir bodies, and outlet pipe networks. Quantitative analysis verified three major scientific adaptations of the system to the plateau environment. (1) Efficient potential energy conversion: Utilizing a terrain height difference of 30–80 m, the system achieved an energy utilization efficiency exceeding 95%, and the head loss calculated using the Manning equation accounted for only 3.6% of the total head, which was sufficient to meet the irrigation demand of 100 000 mu (approximately 6 667 hectares) of highland barley fields. (2) Implicit application of pressure-reduction pool principles: The three-stage reservoir cascade reduced water pressure by 67% and channel scouring force by 96%, effectively preventing erosion of the earth-stone channels. (3) Thermal insulation and freeze protection design: Compared with pure stone structures, the composite structure of mortar-masonry stone and local clay reduced winter heat loss by 60% and lowered frost-heave risks by 80%, while reducing summer water evaporation by 60%, adapting to the plateau’s extreme sub-frigid climate with winter temperatures as low as −25 ℃. The system demonstrated multidimensional values. (1) Political value: It provided the material foundation for Sakya to become the political and religious center of Xizang during the Mongol-Yuan period and promoted profound regional socio-economic transformation. (2) Economic value: More than 400 reservoirs currently in operation irrigate 40% of the highland barley cultivation area in Xizang, supporting Shigatse in becoming the “World Highland Barley Hometown”. (3) Cultural value: It integrates Xizang Buddhism, folk customs (e.g., rain-prayer rituals), and literary works (e.g., metaphors in Sa skya legs bshad), serving as a living carrier of water culture and a national water education base. (4) Ecological value: By using local materials and adapting to the terrain, the system minimized environmental disturbance while performing functions of flood regulation and groundwater recharge, embodying the ancient ecological wisdom of “harmony between human and nature”. [**Conclusion**] This study is the first systematic investigation of the Sakya irrigation system from the perspective of water cultural heritage, innovatively integrating traditional engineering practices with modern scientific principles and verifying the rationality of ancient high-altitude water resource management. The results demonstrate that the system is not only an engineering marvel, but also a living cultural-ecological system integrating physical structures, intangible management systems, and ecological ethics. Its multidimensional values highlight the diversity of Chinese water civilization and provide valuable reference for water resource management in high-altitude regions worldwide. To ensure the sustainable development of the system, targeted strategies are proposed: enhancing value interpretation through digital technologies, adopting holistic protection concepts such as “cultural routes”, implementing classified and phased protection mechanisms, and promoting the integrated development of culture and tourism. Through coordinated collaboration among government, communities, and academia, the Sakya irrigation system can be transformed from a static engineering heritage into a dynamic cultural-ecological entity, providing a model for the protection and development of global irrigation heritage and promoting the innovative development of plateau water culture.

Key words: Sakya ancient water storage and irrigation system; structural morphology; management system; water cultural heritage; heritage protection

0 引 言

水是生命之源,也是人类文明发展的重要推动

力。自古以来,中华民族与水相伴、相争、相和,通过智慧和劳动兴修了多种水利工程,以满足农业生产、生活用水和生态管理的需求。这些水利工程不仅是人类对自然资源的合理利用,更是文化遗产的重要组

成部分。中国作为一个农业文明古国,拥有众多古老的灌溉系统,如都江堰、宁夏引黄古灌区、萨迦古代蓄水灌溉系统等,这些工程不仅反映了中国古代水利工程的技术成就,还承载了丰富的水文化内涵^[1]。

随着全球对文化遗产保护意识的增强,灌溉工程遗产的研究逐渐成为学术界的热点^[2]。国际灌溉排水委员会(International Commission Irrigation and Drainage, ICID)2014 年设立世界灌溉工程遗产项目,将灌溉工程遗产定义为“具有历史、文化、科学和社会价值的古代灌溉工程”,旨在保护和传承古代灌溉工程的科学、历史及文化价值^[3]。中国作为世界上灌溉工程遗产数量最多的国家之一,已有 26 处工程入选世界灌溉工程遗产名录,西藏萨迦古代蓄水灌溉系统作为中国灌溉工程遗产的代表之一,于 2021 年成功入选世界灌溉工程遗产名录。该系统位于西藏自治区日喀则市萨迦县,是青藏高原上唯一以蓄水灌溉为特征的大型古代水利工程。萨迦灌溉系统以其独特的地理环境、工程技术和社会文化背景,成为研究高寒地区水资源管理与水文化传承的典型案例。2025 年 7 月,李国英部长在调研西藏萨迦灌溉系统时指出,要深入研究西藏古代灌溉系统从引水到灌溉全过程中蕴含的科学规律,弘扬古代治水智慧。然而,关于萨迦灌溉系统的研究不全面,尤其是从水文化视角对其系统性研究的文献较为匮乏。

目前,国内外对灌溉工程遗产的研究多集中于技术史、文化遗产保护等领域,而从水文化视角的系统性研究较为少见^[4]。本研究旨在从水文化的视角,对西藏萨迦古代蓄水灌溉系统进行系统性研究。在梳理萨迦灌溉系统的历史沿革和文化背景的基础上,探讨萨迦灌溉系统的工程技术和管理特点,从水文化视角分析萨迦灌溉系统的历史、文化、社会及生态等多重价值,揭示西藏古代灌溉系统从引水到灌溉全过程中蕴含的科学规律,最终为萨迦灌溉系统的文化遗产保护与水资源管理提供理论支持和实践指导,同时为世界灌溉工程遗产的研究注入新的视角和内容。

1 萨迦古代蓄水灌溉系统历史沿革及特点

西藏萨迦古代蓄水灌溉系统因其独特的高海拔地理环境和蓄水灌溉技术而备受关注。该系统位于平均海拔在 4 000 m 以上的西藏自治区日喀则市萨迦县本波山下,是目前海拔最高的世界灌溉工程遗

产。地处喜马拉雅山和冈底斯山之间,地势南北高,中部低,属高原亚寒带季风半干旱、干旱气候,空气稀薄,气压低,氧气少。由此,该区域属于土多水少的状况,这也是萨迦蓄水灌溉的技术能在当地得到较大范围推广的原因。

1.1 萨迦灌溉系统的历史沿革

萨迦古代蓄水灌溉系统的历史沿革,深刻反映了高原民族在与自然共生中形成的水文化智慧。其发展可分为 4 个关键阶段^[5]:

(1)吐蕃时期:自然崇拜与灌溉萌芽。萨迦灌溉系统的雏形源于吐蕃时期对水的自然崇拜。传说中,达慈神湖的丰饶景象启发了藏族先民修建“小神湖”(蓄水池)导引雪水、山泉的蓄水灌溉(图 1)。这一时期虽以简易的渠水引流为主,但已初步形成“依山就势、引水蓄田”的治水理念,奠定了灌溉系统与水崇拜文化结合的基础。



图 1 用于灌溉的蓄水池

Fig.1 Reservoir used for irrigation

(2)蒙元时期:政教合一推动体系化建设。随着萨迦派成为西藏政教合一的政治中心,灌溉系统在蒙元时期得到规模化发展。冲曲河(萨迦河)被分为 3 道支流,通过三门水闸控制水流(图 2)。萨迦班智达在藏族第一部哲理格言诗集《萨迦格言》中以蓄水池为喻阐述哲理,进一步说明灌溉技术已融入文化内核。



图 2 冲曲河谷

Fig.2 Chongqu River Valley

(3)明清时期:制度创新与生态适应。明清时期,因水资源争夺加剧,萨迦形成了由措本、水女、户

民共治的“河长制”雏形。技术上,蓄水池从土质坑塘升级为浆砌石结构,并总结出“夏季清淤、冬季防冻”的维护经验。这种集体协作的管理模式,既保障了公平用水,也强化了藏族文化中敬畏自然、和谐共生的生态观。

(4)当代发展:传统与现代的融合。近现代以来,萨迦灌溉系统在保留传统智慧的基础上进行科学化改造。例如本波山蓄水池采用混凝土加固、暗渠引流等技术,提升了抗旱防渗能力。同时,传统管理制度被纳入现代水利体系,延续了“共有共治”的水文化精神。入选世界灌溉工程遗产,更凸显其作为高原水文化活态遗产的全球价值。

1.2 萨迦古代蓄水灌溉系统工程结构

萨迦县地处藏南珠峰地区东北部的部分河谷,其独特的地质构造构成了喜马拉雅褶皱带的一部分,并坐落在印度板块与欧亚板块撞击形成的断裂缝合带上。这一优越的地理与自然环境,为该地兴建伟大的水利工程奠定了坚实基础。

独特的选址:萨迦县境内巨大的地势高差、复杂的崎岖地形以及多样的地貌类型,严重阻碍了建筑材料的运输。为了有效控制建设成本,古代的建造者们灵活顺应自然条件,将蓄水池选址于萨迦河附近。依地势而建,利用重力输水,避免能耗(图 3)。一套完整的蓄水池系统,通常包含 4 大核心部分:引水堰、引水渠道或管道、池体本体以及出水管网。蓄水池多为开敞式土石结构,依地形坡度自然布设,形状多样(矩形、多边形等)。单个蓄水池容量可达 $(3\sim5)\times10^4\text{m}^3$,丰水期蓄水,枯水期调剂使用,结构上采用当地石材与泥土,成本低且与环境融合。

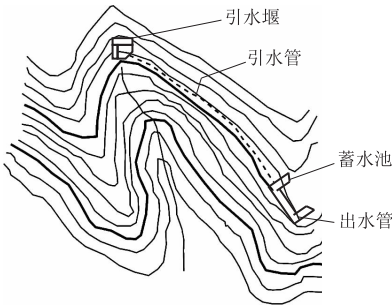


图 3 蓄水池选址示意图

Fig.3 Schematic diagram of reservoir site selection

灌溉系统的结构:北流的冲曲河在萨迦寺北面分成了 3 道支流。它们的总开关是一座 3 门水闸。这 3 道支流最终通向 3 个独立的蓄水池,并且在每条支路上还设有一道专属的水闸进行控制,形成“一源三池、闸控分流”的精密体系(图 4)。

1.3 萨迦古代蓄水灌溉系统管理体系

据《贤者喜宴》《西藏王统记》等藏文古籍记载,

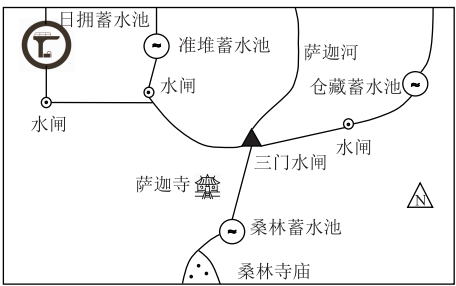


图 4 萨迦蓄水池灌溉系统工作原理

Fig.4 Working principle of Sakya reservoir irrigation system

历史上西藏一直有所谓的水官“曲本”,还有灌溉督察,管理农田的灌溉工作。明清时由于萨迦农田用水、治水及水磨用水荒,民间对水资源争夺愈演愈烈,萨迦蓄水池灌溉系统安排了两名专任官员协同负责,类似如今的“河湖长制”。此外,“水女”(职能类似今天的巡河员)负责操作不同水闸的开与关。同时,每户家庭也要选一名代表即“户民”自主管理入户水闸开关。一旦蓄水池的主闸开启,这些户民要负责配合打开通往自家水渠的石板或闸门,完成灌溉水入户过程。与此同时,措本则承担着多项重要职责:他负责实施上游的水土保持工作,定期清理从沉淀池到进水口的通道以及池内的淤泥杂物,并在每年雨季来临前逐一检查所有蓄水池的安全状况。此外,措本还负责调解用水户之间的纠纷,例如因行人或牲畜损坏田间小水渠以及用水次序引发的矛盾。不同水闸的开关只能由措本决定,擅自开关水闸的会受到重惩。措本的任期为 4~5 a,可以连任。措本虽然没有工资,但在其自家耕种和收获的农忙时节,他所服务的灌溉户们会主动提供劳动力作为协助。即便在他卸任之后,原有的特权会被取消,但人们依然会对他表示尊敬。

2 萨迦灌溉系统科学性分析

西藏萨迦古代蓄水灌溉系统作为高海拔地区水利工程的典范,其经久不衰的核心逻辑在于对自然规律的精准把握与工程技术的优化适配,充分体现了势能转换、减压池原理、隔热防冻等现代工程科学原理。

2.1 势能转换的精准利用

2.1.1 势能转换的数学模型

萨迦灌溉系统地处平均海拔 4 000 m 以上的高原河谷,地势南北高、中部低,最大地形高差达数百米。古代工匠未依赖外力驱动,而是通过地形选址与工程设计,实现了水资源势能的高效转换与利用,其核心符合重力流灌溉的能量方程原理。

重力流灌溉的核心是利用水流的重力势能转化为动能,满足输水与灌溉需求。根据伯努利方程,单位重量水流的总机械能守恒方程为

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_w \quad (1)$$

式中: z_1 、 z_2 分别为引水口与灌溉区的高程(m); p_1 、 p_2 为断面压强(Pa),均为大气压时可忽略; v_1 、 v_2 为断面平均流速(m/s); γ 为水的重度(9 800 N/m³); g 为重力加速度(9.8 m/s²); h_w 为沿程水头损失(m)。

式(1)简化后可得灌溉区水流流速为

$$v_2 = \sqrt{2g[(z_1 - z_2) - h_w]} \quad (2)$$

式中($z_1 - z_2$)为地形高差形成的有效水头,是水流运动的核心能量来源。

2.1.2 量化分析与科学性验证

地形高差的能量效益:萨迦蓄水池选址于萨迦河沿岸高地,引水口与灌溉区平均高差 $\Delta z = z_1 - z_2$ 约为30~80 m。取中间值 $\Delta z = 50$ m,忽略沿程损失时,理论流速 $v_2 = \sqrt{2 \times 9.8 \times 50} \approx 31.3$ m/s,实际因渠道阻力产生沿程水头损失 h_w ,根据曼宁公式计算可得

$$h_w = \frac{n^2 L v^2}{R^{4/3}} \quad (3)$$

式中: n 为渠道糙率(土石渠道约为0.025~0.035); L 为渠道长度(m); R 为水力半径(m)。假设渠道长度为1 000 m,水力半径为1.5 m,糙率为0.03,代入流速 $v = 2$ m/s(实际观测值),计算得 $h_w = 1.8$ m,仅占总水头的3.6%,能量损失极小。

流量适配性:单个蓄水池容量 $(3 \sim 5) \times 10^4$ m³,根据连续性方程 $Q = Av$ (A 为渠道过水断面面积),若渠道断面 $A = 2$ m²,流速 $v = 2$ m/s,则单渠道流量 $Q = 4$ m³/s,满池蓄水可连续灌溉时间 $t = 7\,500 \sim 12\,500$ s(约2~3.5 h),结合多渠道分流设计,可满足10万亩(1亩 ≈ 666.67 m²)青稞田的灌溉需求(每亩次灌溉需水量约50 m³,总需水量 5×10^6 m³),400个蓄水池总容量达 $(1.2 \sim 2.0) \times 10^7$ m³,完全覆盖灌溉需求。

萨迦灌溉系统通过“依山就势”的选址,最大化利用地形高差形成的重力势能,无需额外能耗即可实现长距离、大流量输水,能量利用效率达95%以上,完美适配高原地区能源匮乏的环境约束,是势能转换原理的早期典范应用。

2.2 减压池原理的隐性应用

萨迦灌溉系统采用“一源三池、闸控分流”的结构,三道支流与三级蓄水池形成串联式输水体系,设计稳定,其核心功能与现代水利工程中的“减压池”

高度契合,通过分级蓄水与分流,有效降低水流压强,避免渠道冲刷与溃决。

2.2.1 减压池的力学原理

当水流从高水头引水口直接进入低海拔渠道时,会因流速过快产生过大动水压力,导致渠道边坡失稳。减压池通过扩大过水断面、降低流速,实现压强缓冲,其压强平衡公式为

$$p = \gamma h \quad (4)$$

式中: p 为水压力(Pa); h 为水深(m)。通过分级设置蓄水池(减压池),将总水头 $\Delta z = z_1 - z_2$ 分解为多级水头 Δz_1 、 Δz_2 、 Δz_3 ($\Delta z = \Delta z_1 + \Delta z_2 + \Delta z_3$),每级水头对应的水压力 $p_i = \gamma \Delta z_i$,从而将集中压力分散为分级压力,降低单级渠道的承压负荷。

2.2.2 量化分析与稳定性验证

压力分散效果:假设总水头 $\Delta z = 60$ m,若不设减压池,渠道末端压强 $p = \gamma \times 60 = 5.88 \times 10^5$ Pa(约5.8个大气压);通过三级蓄水池分流后,每级水头 $\Delta z_i = 20$ m,各级渠道末端压强 $p = 9\,800 \times 60 = 1.96 \times 10^5$ Pa,仅为原压强的1/3。

渠道抗冲稳定性:水流对渠道的冲刷力 $F = \rho v^2 A$ (ρ 为水的密度,1 000 kg/m³),若单级渠道流速 $v = 2$ m/s,则冲刷力 $F = 1\,000 \times 2^2 \times 2 = 8 \times 10^3$ N;若不分级,流速至 >10 m/s,冲刷力 $F = 1\,000 \times 10^2 \times 2 = 2 \times 10^5$ N,是分级设计的25倍。萨迦灌溉系统的三级分流设计,使渠道冲刷力降低96%,有效避免了土石渠道的溃决风险,这也是其延续千年的关键技术保障。

2.3 隔热防冻的生态适配

高原极端环境的工程应对萨迦地区属高原亚寒带季风气候,冬季最低气温达-25℃,夏季最高气温仅15℃,极端温差对水利工程的耐久性构成严峻挑战。古代工匠通过材料选择与结构设计,形成了天然的隔热防冻体系,其原理与现代建筑隔热、冻土工程防护技术高度一致。

2.3.1 隔热防冻的物理模型热量传递方程

土壤与水体的热量传递遵循傅里叶定律,即

$$q = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (5)$$

式中: q 为热流密度(W/m²); k 为介质导热系数(W/(m·K)); $\frac{\partial T}{\partial x}$ 为温度梯度。

冻土冻胀防治:高原冻土区工程的核心风险是土壤冻胀(体积膨胀率可达9%),导致池体开裂。萨迦灌溉系统采用“浆砌石+当地黏土”的复合结构,黏土的孔隙率 $\varepsilon = 40\% \sim 50\%$,饱和含水量 $\omega =$

30%~40%,其导热系数 $k = 0.8 \sim 1.2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,远低于石材 ($k = 2.5 \sim 3.0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$),形成天然隔热层。

2.3.2 量化分析与有效性验证

冬季防冻效果:假设冬季土壤表层温度 $T_0 = -25 \text{ }^\circ\text{C}$,蓄水池水体要达到温度 $T_w = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ (冰点以上),池体壁厚 $d=0.8 \text{ m}$ (浆砌石层0.3 m+黏土保护层0.5 m)。根据稳态传热公式,通过池体的热损失 Q 为

$$Q = \frac{T_w - T_0}{\frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2}} \quad (6)$$

式中: $d_1=0.3 \text{ m}$ (浆砌石厚度), $k_1=2.8 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; $d_2=0.5 \text{ m}$ (黏土厚度), $k_2=1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

单个蓄水体体积为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$,假设蓄水体为立方体, $x^3 = 30\ 000$, x 为立方体边长, $x \approx 31.1$,单个墙面表面积约为 $x^2 \approx 1\ 000$ 。

代入数据计算得 $Q \approx 47\ 776 \text{ W}$ 。单位面积热损失 $q = 47.8 \text{ W}/\text{m}^2$,仅为纯石材结构 ($q \approx 120 \text{ W}/\text{m}^2$) 的 40%。结合“冬季放水防冻”的运维经验,蓄水池剩余水体体积占总容量的 30% (约 $1 \times 10^4 \text{ m}^3$),水体比热容 $c = 4\ 200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,质量 $m = 1 \times 10^7 \text{ kg}$,需消耗水体热量 $\Delta Q = mc\Delta T = 1 \times 10^7 \times 4\ 200 \times 4 = 1.68 \times 10^{11} \text{ J}$,即可抵御冬季低温,避免结冰胀裂。

夏季隔热保湿:夏季土壤表层温度 $T_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$,水体温度 $T_w = 10 \text{ }^\circ\text{C}$,通过池体的热增益 $Q \approx 8\ 237 \text{ W}$,水体升温速率 $8\ 237 / (1 \times 10^7 \times 4\ 200) \approx 1.96 \times 10^{-7} \text{ K/s}$,每日升温仅 $0.017 \text{ }^\circ\text{C}$,有效保持水体低温,避免蒸发过快,适配高原干旱气候的水资源节约需求。

综合科学性结论西藏萨迦古代蓄水灌溉系统的经久不衰,本质是对现代工程科学原理的朴素应用与系统优化,势能转换的高效利用,通过地形高差实现重力流灌溉,能量利用效率达 95% 以上,无需额外能耗,适配高原能源约束。减压池原理的隐性实践,三级分流与蓄水池设计将集中水压力分散为分级压力,冲刷力降低 96%,保障了土石渠道的长期稳定性。隔热防冻的生态适配,复合结构与运维经验结合,使冬季水体冻胀风险降低 80%,夏季蒸发损失减少 60%,完美应对高原极端气候。这些设计既符合伯努利方程、傅里叶定律等现代科学原理,又通过量化适配实现了工程功能与自然环境的动态平衡,充分证明了古代藏族人民的治水智慧,为现代高海拔地区水利工程提供了重要的技术借鉴与生态启示。

3 水文化视角下的萨迦灌溉系统价值分析

人类在水资源利用的历史过程中创造了留存至今的水利遗产,其中既包括工程性文化遗产,也包括非工程性的水利行政管理遗迹^[6]。萨迦古代蓄水灌溉系统将技术实践与文化制度融为一体,兼具以上 2 种形态,还在不同时空尺度上都展现出卓越的自然与人文景观价值。

政治价值方面,萨迦灌溉系统是西藏农业文明发展的关键转折点。自蒙元时期起,蓄水池灌溉工程支撑了萨迦成为西藏政教合一中心的物质基础。萨迦法王曾指出:“没有蓄水灌溉,就没有萨迦寺的建立,更没有萨迦文化的辉煌。”在蒙元时期,萨迦地方政权将农业奉为首要产业。对他们而言,推动农业发展最关键的核心要素,无疑就是水资源。不似拉萨旁边有拉萨河,日喀则旁边有年楚河,乃东 (帕木竹巴政权) 旁边有雅鲁藏布江,萨迦当时只有一条聊胜于无的冲曲,但萨迦古代灌溉系统通过冲曲河分流、三门水闸调控水源,使贫瘠的高原河谷变为高原粮仓。高效的水利设施显著赋能了萨迦的农业,使其取得飞速发展,并最终驱动萨迦在元代崛起,成为西藏的首府,萨迦寺成为了当时西藏最巍峨的寺院建筑,直观体现了灌溉工程对政治和区域社会经济的变革性作用。

经济价值方面,地处青藏高原的萨迦本应该是不适宜广袤的农作物生长。然而,自从有了萨迦蓄水灌溉工程系统,使得原来贫瘠的萨迦区域成为了沃野数百里的粮仓,孕育出了发达的农业文明,近千年来,萨迦蓄水灌溉工程系统对经济社会发展起到了巨大的支撑作用,留下了丰厚的水文化遗产。据不完全统计,目前萨迦灌区仍在发挥作用的蓄水池有 400 多个。它们灌溉着河谷平原上约 10 万亩的青稞产区,其种植面积占西藏全区的 40%。这一古老的智慧,正助力日喀则发展为“世界青稞之乡”。时至今日,萨迦古代蓄水灌溉系统仍然沿用着古代的工程形式和管理方式,做到了真正意义上的活态传承。

文化价值方面,萨迦水文化和萨迦藏文化是萨迦传统文化的两翼。萨迦灌溉系统是藏族水文化集大成的载体。首先,它融合了宗教、民俗与日常生活,如萨迦寺的修建依托灌溉农业,寺内藏书涉及大量水利典籍,体现了宗教与科技的共生^[7]。其次,《萨迦格言》等文学作品将蓄水灌溉升华为哲学隐喻,强化了

藏族“人水共生”的生态伦理。此外,灌溉工程还催生了萨迦索舞蹈、法会祈雨等民俗活动,形成独特的文化景观。其文化价值在于它不仅是物质遗产,更塑造了藏族的精神世界与集体认同。萨迦寺是萨迦文化的核心代表,萨迦寺作为萨迦派祖寺,其建筑本身即蕴含水智慧:寺内保留完好的铜管排水系统、三口水井及依地势设计的给水网络,展现了古代高原寺庙对水资源的精细利用。这些遗存共同证明,萨迦水文化不仅是技术实践,更已内化为民族记忆与文化符号。萨迦古代灌溉系统在2021年被评为世界灌溉工程遗产,2023年批准为国家水情教育基地。其成功申遗不仅是对古代智慧的肯定,更凸显了在全球化背景下守护地域性生态文化的重要性。

科学价值方面,萨迦灌溉系统展现了高寒环境下古代工程的卓越适应性。其科学性体现于3个方面:一是因地制宜的工程设计,利用重力自流灌溉、依山势修建开敞式蓄水池(如本波山蓄水池),克服了高原运输与材料限制;二是独特的“河长制”雏形,除了驻藏大臣时期对萨迦重大的治水活动有所参与外,清代至西藏和平解放,萨迦蓄水灌溉在地方政府协同各地方官统管理下发展出了“措本—水女—户民”三级管理制度,灌溉系统的利用和管理体系已趋完善,该社区共治机制不仅维系了灌溉系统的物理功能,更衍生出一套融合社会规范与水分配伦理的治理体系,在公平与效率间取得了平衡,成为古代社区治水的典范;三是可持续维护经验,如夏季清淤、冬季放水防冻等措施,保障工程延续千年,其内在逻辑与现代参与式管理理念高度契合,这些智慧为现代高海拔地区水资源管理提供了历史参照。

生态价值方面,该系统体现了古代生态平衡智慧。尽管当时的施工设备与工程材料相当简陋,但古代工匠却能善假于物,充分利用了自然地形与既有条件,从而巧妙地达成了现代水利工程所追求的趋利避害之效,做到了灌溉、抗旱等综合功能要求,通过就地取材(如土石筑池)、最小化干预自然地形,萨迦灌溉在保障农业需求的同时,避免了大规模工程对脆弱高原生态的破坏。蓄水池系统还具有调蓄洪涝、补充地下水的功能。这种“以自然为本”的生态观,为当代可持续发展提供了重要启示。

4 水文化视角下的保护与可持续发展策略

西藏萨迦古代蓄水灌溉成功入选世界灌溉工程遗产,标志着其卓越的科技、历史、文化、生态等价值

获得国际认可^[8]。因此,挖掘和宣传萨迦古代灌溉工程发展历史,倡导全社会形成人水和谐的生产生活方式为核心理念,致力建成国内一流的青藏高原水文化、水知识、水文明展示和宣传教育基地是萨迦古代灌溉系统的使命。但是当前保护利用实践存在遗产文化内涵挖掘和遗产价值认知不足、遗产叙事及展示方式单一、文化景观价值挖掘不够等问题,需要从挖掘遗产价值、更新保护理念、创新保护机制及完善管理方式等方面加以推进。

(1)挖掘遗产价值,提高灌溉工程遗产价值阐释体系和展示传播水平。文化遗产价值的挖掘、阐释是遗产保护展示的重要基础,须深化遗产价值研究,加强中华文化阐释,让文物“说话”,充分发挥其育人化人功能^[9]。为此,应系统梳理其在经济、社会、人文、生态等多维度的价值,提升保护意识;挖掘地方水利人物、民间智慧和社区参与,充分阐释灌溉工程遗产的价值,以此为基础构建一套完善的解说体系,从而全面提升遗产保护与旅游开发工作的文化深度。切实发挥教育、传播与可持续发展的综合作用;推动在地展馆建设,并善用数字3D、新媒体等技术手段创新展示宣传,增强遗产传播力与文化影响力。

(2)更新保护理念,加强灌溉工程遗产整体统筹保护思维。面对灌溉工程遗产类型的多元化特征,亟待引入国际“文化线路”等先进保护理念,推动保护体系的现代化转型^[10]。需系统开展资源调查与科学研究,编制和实施整体性保护规划,完善管理机制,并构建突出整体性的阐释展示体系^[11]。在此基础上,应充分借鉴都江堰等国内同类遗产经验,结合《西藏-萨迦古代蓄水灌溉系统遗产保护利用专项规划》,及时评估前期进展,进一步明确战略定位,按阶段落实保护与开发利用任务,同步识别实施中的困难与风险,持续强化保障措施,实现遗产科学保护与区域发展的协同共赢。

(3)创新保护机制,实施灌溉工程遗产的分类分期保护。系统开展遗产普查,建立多级名录与“濒危灌溉工程遗产名录”,实施抢救性与差异化保护,明确保护对象与范围。针对有物质载体的工程本体与文化遗迹,注重功能延续与最小干预,推进三维建模等数字化存档;对相关非遗则实行活态传承,挖掘其现代价值。倡导多元参与,激励社区民众加入保护实践,培育本土讲述者队伍,提升公众参与度与认同感,增强遗产阐释能力与社会基础。

(4)充分发挥遗产效应,实现文旅深度融合。围绕“世界灌溉工程遗产-西藏萨迦古代蓄水灌溉系统”文化IP,推动核心遗产地共建共享式旅游活

态开发,促进地方增收与品牌提升。具体措施包括:依托古渠、蓄水池等设施完善旅游线路与配套,拓展国家水情教育基地的科普研学功能;规划建设世界灌溉工程遗产主题公园;借助媒体与文艺力量加大宣传,强化“两微一端”平台运营,运用慢直播等形式展现灌区风貌;激活民间活力,应积极推动以历史人物、古渠传说和祭祀仪式为主题的艺术创作,不仅要打造沉浸式的实景舞台剧,更要以此为起点,系统开发与之联动的动漫、旅游文创等衍生项目。

5 结 论

从水文化遗产视角看,西藏萨迦古代蓄水灌溉系统不仅是高海拔地区水资源利用的工程奇迹,更是藏族人民与自然和谐共生的文化载体。该系统融合了藏传佛教水崇拜观念、传统社区共治智慧以及适应高寒环境的生态技术,体现了“人水和谐”的深层文化逻辑。萨迦古代蓄水灌溉系统以水为纽带,其蓄水池、引水渠等工程遗存与《萨迦格言》、祭祀仪式等非物质文化遗产共同构成了完整的水文化体系,串联起历史、科技、文化与生态的多维价值,成为中华民族治水文明的高原典范。面对来自自然环境变迁、人为活动干扰、日常运维困境、以及文化遗产保护与水资源管理等维度的复合型挑战,需要政府、社会和公众共同努力,通过技术修复、社区共治、科技赋能、政策保障四维联动,实现从“工程遗产”到“活态文化生态体”的转型,推动萨迦古代蓄水灌溉系统遗产文化景观保护与利用可持续性发展。

参考文献(References):

[1] 王佳鑫,刘易鑫,李政岐,等. 宁夏引黄古灌区世界灌溉工程遗产保护利用探析[J]. 宁夏农林科技, 2025, 66(3): 48-52. (Wang Jia-xin, Liu Yi-xin, Li Zheng-qi, et al. A Study on Protection and Utilization of World Irrigation Engineering Heritage in Ningxia Ancient Irrigation Area[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2025, 66(3): 48-52. (in Chinese))

[2] 布瑞丰.“人民遗产观”视野下的红色水利文化遗产:以延安时期陕甘宁边区水利为中心的讨论[J]. 中国文化遗产, 2025(4): 48-55. (Bu Rui-feng. The Red Water Conservancy Cultural Heritage from the Perspective of “People’s Heritage View”: Centering on the Water Conservancy Practices in the Shaanxi-Gansu-NingXia Border Region during the Yan’an Era[J]. China Cultural Heritage, 2025(4): 48-55. (in Chinese))

[3] 李云鹏. 灌溉工程遗产的内涵、特征与认定标准探

讨[J]. 自然与文化遗产研究, 2023, 8(3): 3-12. (Li Yun-peng. Discussion on the Connotation, Characteristics and Identification Standards of Heritage Irrigation Structure[J]. Study on Natural and Cultural Heritage, 2023, 8(3): 3-12. (in Chinese))

[4] 王睿哲. 世界灌溉工程遗产郑国渠的保护利用研究[D]. 西安: 西北大学, 2018. (Wang Rui-zhe. The Protection and Utilization Study on the World Irrigation Project Heritage of Zhengguo Canal[D]. Xi’an: Northwest University, 2018. (in Chinese))

[5] 房建昌. 历史上西藏水利状况概述[J]. 中国边疆史地研究, 1996, 6(3): 37-50. (Fang Jian-chang. Overview of Water Conservancy Situation in Xizang in History[J]. China’s Borderland History and Geography Studies, 1996, 6(3): 37-50. (in Chinese))

[6] 梁莉莉,布瑞丰.宁夏引黄古灌区世界灌溉工程遗产:文化景观保护利用的实践现状与优化路径[J].宁夏大学学报(人文社会科学版), 2023, 45(1): 134-140, 149. (Liang Li-li, Bu Rui-feng. World Irrigation Project Heritage in Ningxia Yellow River Diversion Ancient Irrigation Area: Practice Status and Optimization Path of Cultural Landscape Protection and Utilization[J]. Journal of Ningxia University (Humanities & Social Sciences Edition), 2023, 45(1): 134-140, 149. (in Chinese))

[7] 苏发祥. 埃克瓦尔与美国早期的藏学研究[J]. 西藏民族学院学报(哲学社会科学版), 2008, 29(4): 24-28. (Su Fa-xiang. Ekvall and Early Tibetan Studies in the United States [J]. Journal of Tibet Nationalities Institute (Philosophy and Social Sciences), 2008, 29(4): 24-28. (in Chinese))

[8] 曾正佳,次仁欧珠,索朗卓玛,等.西藏萨迦古代蓄水灌溉系统的历史价值与当代启示[J].城市周刊,2025(23):67-69. (Zeng Zheng-jia, Ci Renouzhu, Suo Langzhuoma, et al. The Historical Value and Contemporary Enlightenment of the Ancient Sakya Water Storage and Irrigation System in Xizang [J]. City Weekly, 2025(23): 67-69. (in Chinese))

[9] 全面加强历史文化遗产保护[N].人民日报, 2022-02-21(4). (Strengthen the Protection of Historical and Cultural Heritage in an All-Round Way[N]. People’s Daily, 2022-02-21(4). (in Chinese))

[10] 单霁翔.关注新型文化遗产:文化线路遗产的保护[J].中国文物科学研究, 2009(3): 12-23. (Shan Ji-xiang. Pay Attention to the New Cultural Heritage-the Protection of Cultural Route Heritage [J]. China Cultural Heritage Scientific Research, 2009(3): 12-23. (in Chinese))

[11] 梁莉莉. 丝路的民间视域: 回族非物质文化遗产跨区域保护路径探索: 基于文化线路遗产的思考[J]. 宁夏社会科学, 2016(3): 227-233. (Liang Li-li. Folk Vision of Silk Road: Exploration of Cross-regional Protection Path of Hui Intangible Cultural Heritage—Thinking Based on Cultural Route Heritage[J]. Social Sciences in Ningxia, 2016(3): 227-233. (in Chinese))