

山区河流导截流施工方案比选与风险评估

李 华

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 在水利水电、交通及市政等基础设施建设中,导流与截流(简称“导截流”)是控制水流、创造干地施工条件的关键环节。山区河流因其地形陡峻、河谷狭窄、水流湍急、地质条件复杂以及水文情势多变等特点,使得导截流工程面临更高的技术难度和安全风险。本文以典型山区河流为研究对象,系统梳理了常见的导截流施工方案类型,构建了基于多指标综合评价的比选模型,并结合风险矩阵法对各方案实施过程中的潜在风险进行了识别、分析与评估。通过案例分析,验证了该方法的有效性与实用性。研究表明,明渠导流结合堰堤堵截流在多数山区工程中具有较好的适应性,但需高度重视汛期洪水、地质灾害及施工组织等高风险因素。本文提出的比选与风险评估框架可为类似工程提供理论参考与实践指导。

关键词: 山区河流; 导流; 截流; 施工方案比选; 风险评估; 水利工程

引言

导流是指在工程施工期间,通过临时或永久性建筑物将水流引导至预定通道,以避免施工区域;截流则是在适当时机,采用特定方法封堵导流通道,使水流完全或部分改道。山区河流与平原河流相比,具有显著不同的水文、地貌和地质特征。其汇流速度快,洪水往往呈现暴涨暴落的特点,峰高量大,枯水期与汛期流量差异悬殊,给施工窗口期的选择带来极大挑战。同时,河谷多呈深切V型或U型,岸坡陡峭,可用于布置施工设施的平缓地带极为稀缺。地质方面,岩体风化程度不均,节理裂隙发育,局部存在古滑坡体或卸荷带,在降雨或开挖扰动下极易诱发崩塌、滑坡等地质灾害。此外,山区对外交通条件普遍较差,大型施工设备和材料运输困难,进一步制约了施工组织的灵活性。上述特点共同决定了山区河流导截流工程具有高风险、高难度、高成本的“三高”特性。一旦导截流失败,不仅会造成工期延误和经济损失,还可能引发溃堤、漫坝等次生灾害,严重威胁下游人民生命财产安全。因此,科学、合理地比选导截流施工方案,并对其潜在风险进行全面、系统的评估,是保障工程顺利实施的前提和关键。

1 山区河流导截流常用施工方案

根据山区河流的具体条件,导截流施工方案的选择需因地制宜。常见的导流方式主要包括明渠导流、隧洞导流、涵管导流及分期导流等;截流方式则主要有立堵、平堵及混合堵等。

1.1 导流方案

1.1.1 明渠导流

在河岸开挖一条临时或半永久性的渠道,将水流引

离主体工程区。该方案适用于岸坡较缓、有足够开挖空间且地质条件较好的河段。其优点是施工简单、过流能力大、便于维护;缺点是受地形限制大,在陡峭峡谷中难以实施,且明渠本身易受山洪或滑坡影响。

1.1.2 隧洞导流

在河岸山体内部开凿导流隧洞,将水流从上游引至下游。这是山区峡谷型河流最常用的导流方式,尤其适用于河谷狭窄、岸坡陡峻、无合适明渠布置位置的情况^[1]。优点是不受地面地形限制,安全性高;缺点是投资大、工期长、施工技术要求高,且需考虑围岩稳定性和进出口边坡防护。

1.1.3 涵管(或埋管)导流

在河床或岸坡下埋设钢筋混凝土管或钢管,用于导流。适用于流量较小、工期短的小型工程或作为辅助导流措施。优点是占地少、施工快;缺点是过流能力有限,易被泥沙或漂浮物堵塞,抗冲刷能力弱。

1.1.4 分期导流

将河床分阶段束窄,利用部分河床过流,同时在另一侧进行施工。适用于河面较宽、流量较大的河流,但在典型的V型或U型峡谷中应用受限。

1.2 截流方案

1.2.1 立堵截流

从龙口一端或两端向中间抛投材料(如块石、混凝土四面体、钢筋笼等),逐步缩小龙口宽度直至合龙。这是最常用的截流方法,尤其适用于流速大、水深较浅的山区河流。其优点是设备简单、机动灵活、适应性强;缺点是对抛投精度和材料强度要求高,合龙瞬间水流集中,冲刷剧烈。

1.2.2 平堵截流

先在龙口架设浮桥或栈桥,然后沿龙口全线均匀抛投材料,逐层抬高形成戗堤。适用于水深较大、流速相对平缓的河段。优点是水流扰动小,合龙过程平稳;缺点是需搭建工作平台,成本高,在山区湍急河流中难以实施。

1.2.3 混合堵截流

结合立堵和平堵的优点,先用立堵缩窄龙口,再用平堵完成合龙。适用于复杂水力学条件下的截流作业。

在实际工程中,导流与截流方案常组合使用,如“隧洞导流+立堵截流”、“明渠导流+立堵截流”等。

2 导截流施工方案比选模型构建

为科学选择最优导截流方案,本文构建了一个基于多指标综合评价的比选模型。该模型遵循“目标层—准则层—指标层”的层次结构。

2.1 评价指标体系

结合山区河流特点及工程实践经验,确定以下五大准则层及其下属指标:

表1 评价指标体系

目标层	准则层	指标层(具体评价指标)
最优导截流施工方案选择	A.技术可行性	A1:与地形地质条件的适应性
		A2:施工技术成熟度
		A3:导流/截流能力满足度(能否安全通过设计导流流量)
	B.经济性	B1:直接工程投资(土建、设备、材料)
		B2:间接成本(征地、环保、交通协调)
		B3:工期影响(是否制约总进度)
	C.安全性	C1:施工期防洪安全裕度
		C2:对主体工程安全的影响
		C3:应急处置的便利性
	D.环境与社会影响	D1:对河流生态的扰动程度
		D2:水土流失与泥沙淤积风险
		D3:对当地居民及交通的影响
	E.施工组织与管理	E1:大型设备进场与作业空间需求
		E2:材料供应与运输条件
		E3:劳动力组织难度

该表格可作为后续权重赋值(如AHP层次分析法)、专家打分或模糊综合评价等多属性决策方法的基础框架。如需进一步构建判断矩阵、确定指标权重或进行方案评分,可在此基础上继续扩展。

2.2 权重确定与综合评价

为客观量化各指标的重要性,本文采用层次分析法(AHP)来确定权重。该方法通过邀请5至7位具有丰富山区工程经验的专家,对同一层次的指标进行两两比

较,构建判断矩阵,并经过严格的一致性检验后,计算出各指标的权重向量。整个评价过程分为两个层级:首先确定技术可行性、经济性、安全性、环境与社会影响、施工组织与管理这五大准则层的权重;其次,在每个准则层内部,再确定其下属三个具体指标的权重。对于每一个备选方案,由专家组依据统一的评分标准(如1-10分制)对其在各项指标上的表现进行打分。最终,通过加权求和的方式,计算出每个方案的综合评价值。该值越高,表明该方案的整体优越性越强。通过这一系统化的比选流程,可以有效避免决策过程中的主观随意性,为工程选择提供坚实的科学支撑。

3 导截流施工风险识别与评估

即使选择了最优方案,施工过程中仍存在诸多不确定性。因此,必须进行系统的风险评估。

3.1 风险识别

风险识别是风险管理的第一步。本文通过深入研读国内外相关文献、广泛征询行业专家意见,并系统分析历史导截流工程事故案例,全面梳理出山区导截流工程的主要风险源。其中,水文气象风险首当其冲,包括遭遇超过设计标准的特大洪水、局地突发性暴雨以及冬季冰凌堵塞导流通道等,这些都可能在极短时间内摧毁精心构筑的导流体系。地质灾害风险同样突出,由于山区地质环境脆弱,施工开挖或强降雨极易诱发岸坡失稳、滑坡甚至泥石流,直接冲击或掩埋导流建筑物^[3]。施工技术风险则贯穿于全过程,例如截流戗堤因抛投材料不当或水流冲刷而发生破坏、导流隧洞在掘进中遭遇不良地质导致塌方、以及最关键的截流合龙阶段因时机或方法失误而宣告失败。此外,设备与材料风险也不容小觑,关键抛投设备的突发故障或所用块石的级配、强度不达标,都可能成为压垮骆驼的最后一根稻草^[4]。最后,管理层面的风险,如应急预案缺失、监测预警系统反应迟钝、各参建单位协调不力等,往往是放大技术风险的催化剂。

3.2 风险评估方法

针对识别出的风险事件,本文采用风险矩阵法进行量化评估。该方法从风险发生的可能性和后果的严重性两个维度入手,对每个风险事件进行评级。可能性等级划分为极低、低、中、高、极高五个档次,严重性等级则对应轻微、一般、严重、重大、灾难性。将两个维度的等级数值相乘,即可得到风险值,并据此将风险划分为低、中等、高、极高四个等级。对于低风险事件,可在常规管理下接受;中等风险需加强监控;高风险事件则必须制定专项控制措施;而极高风险事件,原则上应

通过方案优化予以规避或彻底消除。这种直观、清晰的评估方法，有助于项目管理者迅速抓住关键风险点，合理配置资源，实现精准防控。

3.3 典型风险评估示例

以“明渠导流+立堵截流”这一常见组合方案为例，其风险评估结果揭示了若干关键控制点。其中，汛期遭遇超标洪水导致明渠漫顶的风险被评为极高，因其一旦发生，将直接导致整个施工基坑被淹，后果不堪设想。明渠开挖形成的高边坡在降雨作用下发生滑坡并堵塞导流渠的风险被评定为高风险，这要求必须对边坡进行严格的加固处理。截流合龙阶段因水流冲刷导致戗堤失稳而失败的风险同样属于高风险范畴，需通过精确的水文预报、充足的物料储备和娴熟的施工技术来加以防范。相比之下，抛投设备临时故障或施工引起的局部水土流失等问题，则属于中等或低风险，可通过常规的设备维护和水保措施进行有效管理。这一评估过程清晰地指明了风险管理的优先级，为后续制定针对性的应急预案提供了明确方向。

4 工程案例

4.1 工程概况

某水电站位于我国西南地区的高山峡谷地带，坝址处河谷呈典型的“V”字形，两岸山势陡峭。经水文分析，枯水期平均流量约为30立方米每秒，而10年一遇的设计导流洪水流量高达1200立方米每秒，水文情势极为严峻。地质勘察表明，两岸基岩主要为中风化花岗岩，整体稳定性较好，但局部存在由构造作用形成的卸荷裂隙带，构成了潜在的不稳定区域。工程对外交通仅依赖一条蜿蜒的盘山公路，大型设备运输和材料供应面临巨大挑战。

4.2 备选方案

针对该工程的具体条件，初步拟定了三个导截流方案。方案一为左岸明渠导流配合立堵截流，试图利用左岸相对开阔的台地；方案二为右岸导流隧洞（直径8米，全长650米）配合立堵截流，充分利用山体作为天然屏障；方案三则尝试采用分期导流，通过束窄50%的河床过流，并辅以平堵方式截流。

4.3 方案比选

依据本文构建的多指标综合评价模型，组织专家组对三个方案进行了详细打分与权重计算。评估结果显示，方案一虽然初期投资较低，但其对左岸地形的依赖性过强，且明渠高边坡的稳定性风险难以完全消除，在安全性和施工组织方面得分偏低。方案三受限于狭窄的河谷宽度，束窄后流速过大，对施工安全构成严重威胁，技术可行性不足。相比之下，方案二尽管导流隧洞

的建设成本最高、工期最长，但其在技术可行性、安全性和对复杂地形的适应性方面表现卓越，综合评价最高，最终被推荐为首选方案。这一结论充分体现了在高风险山区环境中，“安全可靠”应优先于“经济节约”的工程决策原则。

4.4 风险评估与应对措施

针对最终选定的隧洞导流方案，项目团队开展了深入的风险评估。评估发现，导流洞施工期遭遇不良地质导致塌方、截流期间遭遇超标洪水、以及隧洞出口高边坡失稳是三大核心高风险事件。为此，项目制定了严密的应对措施：在隧洞施工中，全面应用超前地质预报技术，严格遵循新奥法施工理念，做到“短进尺、弱爆破、强支护、勤量测”；为应对洪水风险，建立了覆盖全流域的水文自动测报系统，并将截流时间刚性锁定在主汛期之前，同时规划了紧急情况下的备用泄洪通道；对于出口边坡，则设计了以预应力锚索和钢筋混凝土格构梁为核心的加固体系，并布设了自动化位移监测网，实现对边坡变形的实时掌控。通过这一系列主动、前瞻的风险管控措施，成功将各项高风险事件的发生概率和潜在后果降至可接受水平，为工程的顺利推进奠定了坚实基础。

5 结语

本文围绕山区河流导截流施工核心问题研究得出：方案选择要遵循“安全第一、技术可行、经济合理”原则，隧洞导流结合立堵截流在多数工程中较优；构建多维度综合评价模型能为方案比选提供科学依据；系统化风险评估很关键，要警惕“黑天鹅”事件；风险管理是动态持续过程，需建立监测预警与应急响应机制。据此提出建议：项目前期精细勘察水文地质；推广数字化技术提升决策前瞻性；建立风险数据库共享经验；强化应急预案实战演练。未来研究可引入更先进量化方法提升风险评估精度，深入探索全球气候变化下极端水文事件对山区导截流工程长期安全的新挑战与应对策略。

参考文献

- [1]林集思.水利水电工程施工中的导截流技术分析与研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(07):214-216.
- [2]张晴,杜敦昊.水利枢纽工程施工导截流设计浅析[J].内蒙古水利,2024,(07):20-22.
- [3]王晖,胡金林,罗勇,等.中型水库导截流实施方案调整与优化研究[J].水利水电技术(中英文),2021,52(S2):25-28.
- [4]张家健.水利水电工程中的导截流技术[J].中国高新科技,2021,(09):137-138.