

# 新疆砂砾石面板坝坝料填筑土石方计数系统与自动化碾压控制的协同增效

文 / 杨开智 新疆北方建设集团有限公司

**摘要：**为了提高新疆砂砾石面板坝施工的精度和效率，采用了土石方计数系统与自动化碾压控制技术的协同增效方法。通过分析技术应用，结果表明，该技术能够显著提高材料使用精度、改善填筑质量、缩短施工周期，并降低人工成本与施工风险。土石方计数系统和自动化碾压控制技术的结合，不仅提升了施工精度，还有效控制了材料浪费和质量误差，推动了新疆地区施工技术的提升。建议未来进一步推广该技术，优化施工流程，提升工程质量。

**关键词：**土石方计数系统；自动化碾压控制；砂砾石面板坝；协同增效

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.12.088

## 引言

新疆地区地理环境复杂，砂砾石面板坝施工面临材料特性不均、质量控制困难、工期长且成本高的问题。传统施工方式在材料使用、施工精度和坝体稳定性方面存在挑战。随着数字化与智能化技术的发展，土石方计数系统与自动化碾压控制技术逐步应用于砂砾石面板坝施工中，能够实时监测材料使用情况并精确调节碾压过程，从而提高施工效率、降低成本并确保施工质量。本文探讨了这一技术的应用效果及其协同增效作用。

### 一、土石方计数系统与自动化碾压控制技术概述

#### (一) 土石方计数系统

土石方计数系统是一种应用数字化技术的实时监控系统，旨在实现砂砾石面板坝施工过程中土石方材料的精准计量与记录。该系统依托于施工机械上装配的感应元件及监控设备，即时搜集土石方物料之数量、类别、品质等相关信息，将信息导入核心指挥系统，务必保证每一批次物料消耗与施工图纸所规定的标准相吻合，此系统具备对每一批次土石方之体积与质量进行详尽登记之功能，尚可借助即时监督机制以规避人工检测过程中所产生的不准确性如图 1 所示。

#### (二) 自动化碾压控制技术

自动化碾压控制是利用智能化控制系统，根据砂砾石特性与施工要求，自动调节碾压设备的工作状态，从而实现精确碾压。这一技术的核心优势在于能够根据实时反馈的砂砾石特性数据（如湿度、粒径等）自动调整碾压设备的工作参数，确保碾压过程中的每一层土石方材料的密实度达到设计要求，相较于传统的人工调控压实作业的频次与力度标准，智能化压实设备监控系统对施工场地进行即时监控，对磨压机械的操作参数进行精细化调整，进而确保大坝的稳固性与可靠度。因此，该智能化技术之实施，显著增强了施工的精确度，并减少了人为因素对施工质量的影响。如图 2 所示。

### 二、砂砾石面板坝的施工存在的问题

#### (一) 材料特性复杂

新疆地区的砂砾石来源广泛且质量差异较大，施工

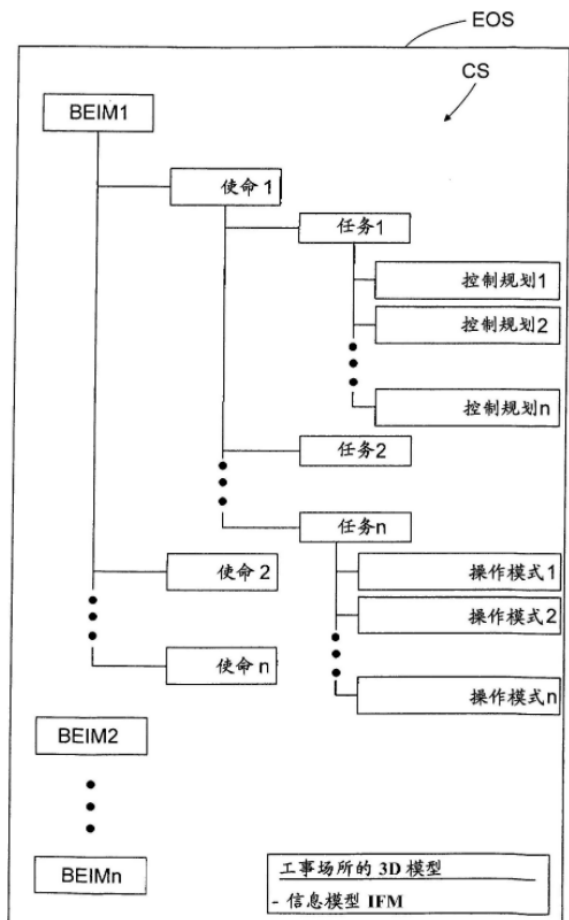


图 1 土方控制机器

过程中往往会遇到不同类型和特性的砂砾石。这些材料的物理特性如颗粒度、密度、含水量等存在显著差异，而这些差异直接影响到坝体的稳定性与施工精度。由于新疆地区的砂砾石矿区分布较为分散，砂砾石的来源不可控，且材料的均匀性无法得到保证，这为坝体的质量控制带来了困难。尤其是当特定区域的砂砾石粒径超出常范围，无论是显著增大还是显著减小，其密实度与剪切承载能力将呈现差异，显著作用于坝体压实成效，在传统的建筑作业领域，施工从业者运用视觉评估、人工采集样本等手段以评估材料属性，此类手段在精确度

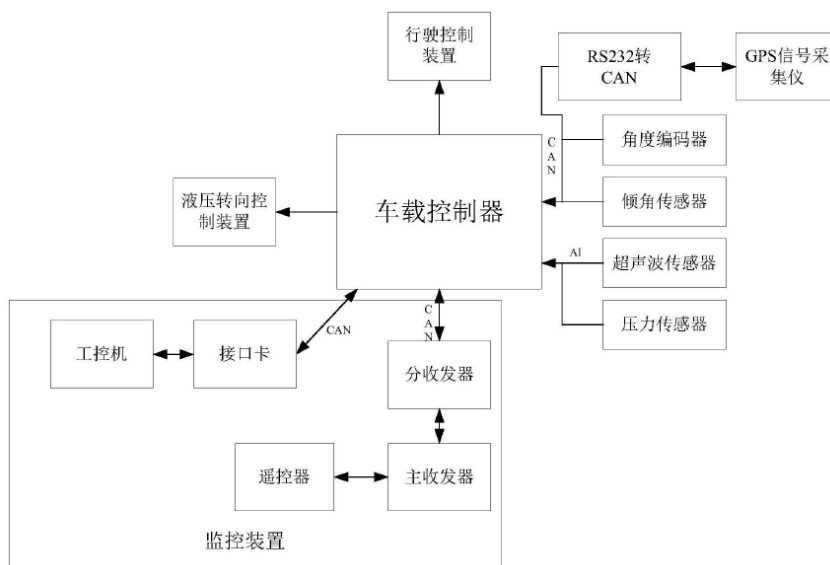


图2 自动化碾压控制技术

方面存在不足，易于引发错误判断，因此引发坝体局部区域压实度及稳定性呈现非一致性状况，对整体品质产生作用。物料中湿度水平的波动亦对施工过程构成了考验，砂砾石的水分含量过高或过低都会影响压实度和坝体的稳定性，而水分的波动又与季节变化密切相关。在没有精确控制和监测水分含量的情况下，施工质量往往无法得到有效保障。如图3所示。

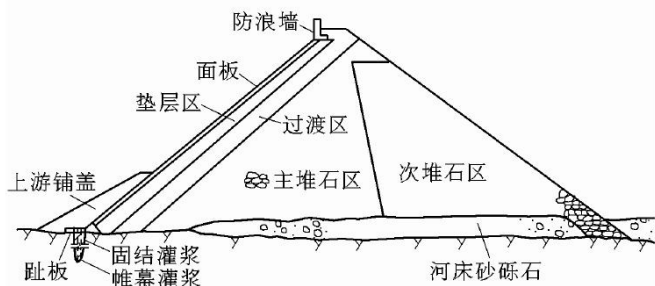


图3 面板堆石坝结构示意图

(二) 填筑质量控制困难

在传统的土方施工环节，坝体材料之品质监管通常依赖于人工之评估与鉴定，诸如采用人工采集样本以测定其压实比、密实度等关键参数，鉴于施工条件之繁复，特别是在新疆这一地域特征显著且自然环境多变的区域，人工操作往往易于引发偏差，人工鉴定或许难以精确测定各层坝体填料的密实度，特别是在砂粒层结构复杂且分布存在显著差异的情境中，此类偏差或许会对坝体的综合稳固性产生干扰。在施工进展中持续实施调整与品质监控，人工干预的制约性特征在诸多情境中表现得尤为显著，易于引发重复劳动及非必需的修正措施，对整体施工进度产生制约作用。

(三) 施工周期长成本高

传统建筑工艺在坝料质量控制与整治过程中对人工干预的过度依赖，施工进度普遍呈现延宕态势，每一级坝体材料的密实度与层序布局均需经历多次核实与修正，此举无疑延长了建筑作业的持续期，进一步提升了治理与监督的复杂性，于繁复的地球物理环境之中，砂粒级配的属性

及工程实施之挑战程度有所提升，建筑工人在施工过程中被迫实施反复的质量审核与修正措施，持续扩展了建设周期。这显著提升了该项目的财政压力，人工干预频次较高且精确度不足，亦可能诱发重复作业与资源消耗，额外产生了非必要的经费投入。因此，常规的建造技术不仅导致了工期拖延，也提高了项目的整体成本。

三、协同增效机制分析

(一) 提高施工精度与质量

在新疆砂砾石面板坝的施工中，土石方计数系统能够显著提高施工精度和质量。通过数字化计量与监控，系统可以确保每一批坝料的准确性，避免人工操作中的误差。在传统的建筑施工程序中，鉴于人工测量结果的不确定性因素，可能引发物料损耗或品质未能满足既定标准，特别是在繁复的地球物理环境中，新疆地域内砂砾石的产地及品质呈现出丰富性与差异性，该土石方计量设备具备即时搜集每一批次坝体材料的质量、容积、粒度分布等关键数据的能力，并通过数据库与设计要求进行比对。例如，设计要求砂砾石的密度应为 2.0g/cm<sup>3</sup>，而实际测得的密度偏差值为 ±0.05g/cm<sup>3</sup><sup>[1]</sup>。根据下式：

$$\text{误差率} = \frac{|\text{实际密度} - \text{设计密度}|}{\text{设计密度}} \times 100\%$$

若实测物质密度值为 2.05g/cm<sup>3</sup>，该偏差指数为 2.5%，实时对数据实施监控与适时调整举措，旨在保障施工环节中物料消耗的精确性，融合智能化压实操控系统，依托即时信息调整压实力度，务必保障坝体各层结构的致密性与稳固性，智能化压碎设备能够依据坝基材料的物理属性诸如粒径分布、水分含量等因素，智能化调整压实力度。假定该层坝体材料所具备的剪切阻力指标为 30kPa，整合密度与水分含量等要素，系统计算出所需碾压强度为 500kPa<sup>[2]</sup>。根据砂砾石的标准压缩试验公式：

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

其中，σ 为碾压强度，F 为施加的力，A 为接触面积。一旦剪切抗力值符合既定设计规范，智能控制系统依据

实时反馈信息即刻调节压碎力度，务必保证各层结构的致密性与剪切承载能力均达到既定设计规范之标准，进而增强坝体的综合品质，确保其长期稳定性<sup>[3]</sup>。

**(二) 实现数据化管理与监控**

信息化的管理与监督机制确保了施工环节中各项数据的即时搜集、登记与解析，此举不仅有利于施工管理者作出精准的抉择，亦为后续的质量监控与维护活动提供了详尽的记录资料，信息技术与土石方工程量统计体系以及自动化操控手段的有机结合，成功实施了全方位的施工环节监管，能够迅速识别并妥善处理施工过程中的难题，持续优化施工效能与品质。土石方计量装置对施工场地信息搜集与传递环节实施自动化操作，实施即时监测以掌握坝体物料之数量与品质状况，依托于智能化数据搜集平台所获取的即时信息，项目执行者可依据具体状况对施工进度表进行相应修订，整合工程项目具体要求与信息化管控手段，得以实施大规模数据挖掘与处理，对施工各阶段所收集的数据资料进行归纳与横向比较，提升工程实施效率，减少返工。例如，通过对不同层次坝料的统计，系统可以预警如果某一批材料的颗粒级配偏离了设计范围。基于以下的统计分析公式：

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

其中， $\mu$  为坝料的平均颗粒度， $x_i$  为第  $i$  批坝料的颗粒度数据， $N$  为数据总数。借助数据解析，现场施工监管人员能够即时评估该批次坝料是否满足既定设计规范，规避由误差引发的品质瑕疵，智能化压实设备监控系统依托感应元件与调控策略，实时监测压路机械的作业实况，据此依据反馈资讯对设备操作指标进行相应修正，依托于

砂砾石压实实验所获得的资料，该系统具备调节压碎强度之功能，确保其于各层材料之间实现均质化分布，实现既定规划指标。借助综合性的数字化信息处理平台，工程实施进程及品质能够实现即时跟踪与改良，项目后续阶段的质量监控与维护得以依托于充分的实证资料<sup>[4]</sup>。

**(三) 降低施工成本与周期**

自动化碾压控制技术与土石方计数系统的结合，不仅能提高施工精度和质量，还能有效降低施工成本与周期。传统的土石方施工方式依赖人工操作，容易出现人为失误，导致材料浪费、返工及延误工期。通过引入自动化技术，施工过程中的每一项操作都能够得到精确控制，避免了人工误差和返工的可能性，从而减少了施工成本和时间。在我国新疆地区之奎屯河水源调配项目之中，实施智能化监管体系，施工企业依托即时信息跟踪系统，能够实现对各层坝料压实度与物料消耗量的精确调控，借助该机制，施工主体对各项施工活动的时序与力度实施精准调节，务必使物料依照既定标准进行应用，有效遏制了非必要的物料损耗，实证研究结果表明，实施自动化操控策略之后，建设工期可缩减约 20%，此举亦实现了对约 15% 的物料成本的有效削减。例如，在某些砂砾石较为松散的地区，通过自动化碾压控制系统，碾压强度可自动调节，从而避免过度碾压或不足碾压的情况，这减少了返工的机会。假设某一区域的初步压实度为 85%，系统根据反馈将碾压强度调整至 800kPa，压实度提高至 95%，极大提升了施工效率。借助降低人为介入的频率，智能化监控体系显著减少了建筑作业阶段的安全隐患，显著降低了因人为操作疏忽引发的意外事件及产品瑕疵率，因此有效阻隔了由安全隐患引发的额外经济负担<sup>[5]</sup>。如图 4 所示。

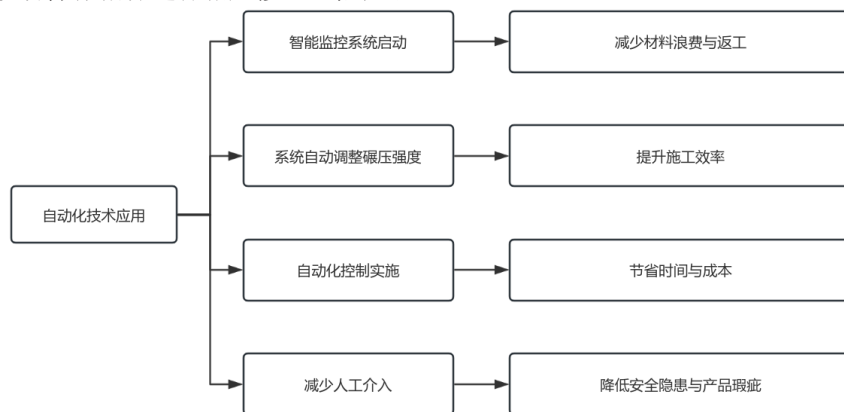


图 4 自动化技术协同增效施工流程图

**结语**

土石方计数系统与自动化碾压控制技术的结合，显著提升了新疆砂砾石面板坝施工中的材料精确计量与碾压控制能力。研究表明，这一技术能够有效改善施工质量，减少人工操作的失误，提高施工效率，并降低了工程成本和安全风险。建议在新疆地区以及类似复杂地质条件的施工项目中，进一步推广并应用该技术，以优化施工管理，提升施工质量与效率。

**参考文献**

[1] 李思蕾，王家元，万克诚. 胶凝砂砾石材料对镶嵌

混凝土面板坝影响分析 [J]. 陕西水利, 2024, (12): 21-24.  
 [2] 陆云才. 小山水电站砂砾石面板坝三维静、动力有限元计算分析 [J]. 云南水力发电, 2024, 40(02): 101-106.  
 [3] 田超. 基于离心机振动台试验的面板砂砾石坝动力响应特性及土工格栅加固机制研究 [D]. 西安理工大学, 2023.  
 [4] 秦文保. 新疆某水库砂砾石混凝土面板坝设计及变形评价 [J]. 云南水力发电, 2023, 39(11): 135-138.  
 [5] 李学强，苗喆，邓成进. 新疆大石峡面板砂砾石坝坝体分区安全性分析 [J]. 西北水电, 2020, (S2): 51-57.