

新疆奇台县中葛根水库大坝安全监测技术分析

朱继新

奇台县水利管理站，新疆奇台，831800；

摘要：中葛根水库作为新疆奇台县重要的中型水利枢纽工程，其大坝安全直接关系到流域内农业灌溉、防洪减灾及群众生命财产安全。本文以该水库混凝土面板堆石坝为研究对象，基于10余年的安全监测数据，系统分析监测系统布设、渗流监测、变形监测及土压力监测等关键技术内容。结果表明：大坝帷幕和面板防渗效果良好，坝基渗透水位正常；周边缝、板间缝变形及面板脱空量均在合理范围；坝体沉降量较小且趋于稳定，土压力分布符合规律。但库水位超过1581.38m时，坝后渗流量因绕坝渗流显著增加，需重点关注。研究成果为大坝安全运行及后期维护提供科学依据。

关键词：混凝土面板堆石坝；安全监测；渗流分析；变形监测；土压力监测

DOI：10.69979/3060-8767.25.12.078

1 工程概况

1.1 工程基本信息

中葛根水库坐落于新疆奇台县半截沟镇中葛根河出山口处，是一座以灌溉为主、兼顾防洪的中型水利枢纽工程。水库控制中葛根河山区全部集水面积207.4 km²，该流域多年平均径流量8362万 m³，是流域径流调节的最优位置。水库总库容1364.84万 m³，其中调节库容1229.9万 m³，死库容111.1万 m³，坝前最大水深62.7m。流域内现有总人口2.05万人，土地面积42.66万亩，宜农地28.8万亩，耕地面积19.0万亩（占可耕地面积57%），灌溉面积12.2万亩，水库对缓解区域水资源短缺、保障农业生产至关重要。

枢纽工程由拦河大坝、岸边开敞式溢洪道、导流兼泄洪冲沙和放水隧洞组成。拦河大坝为混凝土面板堆石坝，坝顶高程1594.43m，最大坝高76.43m，坝顶长206.95m、宽7.5m，上下游坝坡分别为1:1.5和1:1.6。坝顶设“L”型钢筋混凝土防浪墙，墙顶高程1595.63m，墙厚30cm。上游混凝土面板厚度30-50cm，采用C30F300W12混凝土，配置单层双向钢筋，在1557.00m高程设水平伸缩缝，共设24条垂直伸缩缝。

导流兼泄洪冲沙和放水隧洞位于右岸，全长336.7m，进口设检修闸井，坝轴线下游6m设工作闸井。闸井前188m为直径4.1m的有压圆洞，闸井后为2.8m×4.4m的城门洞型无压洞，长129.875m，钢筋混凝土衬砌厚度0.4m。左岸开敞式正槽溢洪道全长240.85m，基础坐落在基岩上，宽顶堰设计最大水头2.94m，设1孔10.0m

×3.0m平面翻转钢闸门，泄槽段底坡*i*=0.283，尾部采用跌水消能。

1.2 监测系统布设

大坝及隧洞安全监测工程共安装埋设各类监测仪器115支，仪器完好率95.6%（仅5支损坏）。监测仪器涵盖渗压计、测压管水位计、土压力计、水管式沉降计、测缝计、脱空计、温度计及强震仪等，主要厂家为南瑞、ROCTEST及威波瑞等。

因坝址河床较窄，选取河床最大断面0+125.0m作为核心监测断面，涵盖坝基渗流、坝体变形、混凝土面板接缝及坝体土压力等监测内容。具体布设如下：①坝基渗透压力：沿坝基开挖面从帷幕前至坝后布设8支渗压计，两岸坡各布设3支测压管水位计；②坝体内部沉降：在1545.0m、1565.0m、1583.0m高程分别布设7只、6只、5只水管式沉降计；③坝体外部变形：坝顶下游侧及后坝坡1574.0m、1554.0m高程设综合位移标点及工作基点；④接缝监测：10组三向测缝计监测周边缝，9支测缝计监测板间缝，2组脱空计监测面板脱空；⑤水库水温：13#面板7个高程布设温度计；⑥渗流量：坝后渗流溢出点设流量计。

2 监测资料分析方法

本次分析基于2011年蓄水至2025年10月的连续监测数据，采用趋势分析、相关性分析及对比分析等方法。趋势分析通过绘制监测数据过程线，识别数据变化规律及稳定状态；相关性分析重点研究渗透水位、渗流量与库水位的关联程度；对比分析将监测成果与国内外

同类混凝土面板堆石坝数据对比,判断监测指标合理性。分析过程中剔除异常数据(如仪器故障时段数据),确保成果可靠性。

3 关键监测指标分析

3.1 渗流监测分析

渗流监测包括坝基渗透水位、绕坝渗流及坝后渗流量,是评估大坝防渗性能的核心指标。2011 年蓄水后,渗压计及测压管水位与库水位变化趋势一致,呈显著正相关。P2-P4 渗透水位接近, P5-P8 从坝前至坝后逐渐降低,帷幕削减水头 76.4%,表明防渗效果良好。2025 年 10 月 31 日库水位 1581.01m 时,河床坝基渗透水位 1528.40-1525.95m,帷幕和面板削减水头 75.3%,处于正常范围。

绕坝渗流呈现明显的库水位依赖性:低库水位时,两岸坡测压管水位与河床坝基渗透水位接近,甚至后者

更高;库水位高于 1575m 后,两岸坡测压管水位显著升高;库水位超 1581.0m 时,升高速度加快。2024 年 9 月 28 日库水位 1586.71m (高水位) 时,左岸坡 UP2 测压管水位比同期河床 P3 渗压计水位高 7.30m,右岸坡 UP4 比 P7 高 2.58m,绕坝渗流特征显著。

坝后渗流量与库水位相关性极强(图 1 图 2)。库水位低于 1581.38m 时,渗流量增长平缓,2025 年 8 月 27 日库水位 1578.71m 时渗流量仅 9.35L/S;库水位超过 1581.38m 后,渗流量迅速增加,9 月 1 日达 53.0L/S,9 月 11 日库水位 1585.27m 时渗流量 260.0L/S;库水位超 1585.55m 后量水堰超量程。渗流量突变与两岸坡测压管水位骤升同步,证实大渗流量主要由绕坝渗流引起。2024 年 10 月 16 日及 2025 年 9 月 11 日高水位时段渗流量分别为 180.0L/S、260.0L/S,退水后渗流量随库水位降低而回落,10 月 31 日库水位 1581.01m 时渗流量 30L/S,符合渗流变化规律。

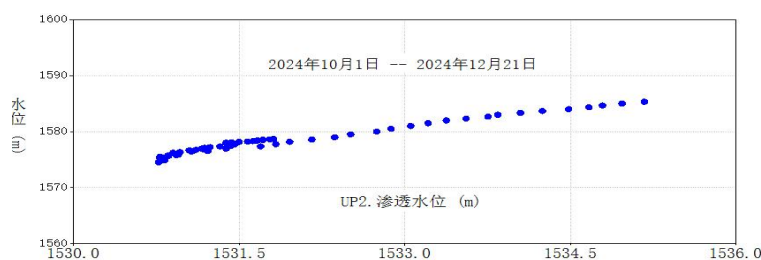


图 1. UP2 渗压计与库水位相关图



图 2. UP4 渗压计与库水位相关图

3.2 变形监测分析

3.2.1 接缝变形监测

周边缝作为面板坝防冲薄弱环节,其变形受面板与趾板地基变形模量差异及水荷载影响显著。监测结果显示,周边缝变形呈“张拉-剪切-沉降”耦合特征,2025 年 10 月最大开合度 36.7mm、最大剪切变形 20.9mm、最大沉降变形 57.3mm。与国内外同类大坝对比,中葛根水库周边缝沉降变形略大于乌鲁瓦提(133m 坝高,沉降 22.83mm)、天生桥一级(178m 坝高,沉降 28.48mm),但小于安奇卡亚(140m 坝高,沉降 106mm),处于合理

范围。

板间缝变形主要受温度控制,呈年周期变化:温度降低时缝张开,温度升高时缝闭合。板间缝测点分别位于 1545.0m、1565.0m 及 1585.0m 高程,2025 年 10 月开合度 0.7-2.2mm,远小于周边缝变形,且各测点变形同步性好,表明面板整体性良好,温度应力释放正常。

3.2.2 面板脱空监测

面板脱空由坝体沉降导致面板与砂砾石坝体脱离引起,监测涵盖水平及垂直方向。2025 年 10 月水平方向脱空量 10.2mm,垂直方向(沉降)17.2mm,脱空量较小且长期稳定。该结果表明坝体沉降均匀,面板与坝体

接触紧密，无大规模脱空风险，避免了因脱空导致的面板应力集中及防渗失效。

3.2.3 坝体沉降监测

坝体内部沉降监测显示，沉降量随高程升高而减小：1545.0m 高程最大沉降量 191.2mm(含观测房沉降 66mm，总沉降 257.2mm)，占坝高 0.42%；1565.0m 高程总沉降 221mm，占坝高 0.36%；1583.0m 高程总沉降 140.7mm，占坝高 0.23%。施工期最大沉降 256mm 发生于 1545.0m 高程（1/3 坝高位置），与该高程观测房先建后测的布

设方式有关，其余高程因先测后建观测房，初始沉降数据未完全捕捉，但整体沉降规律一致。

与国内外同类大坝对比（表 1），中葛根大坝施工期最大沉降/坝高 0.36%，蓄水期 0.40%，远小于 Areia 坝（施工期 2.23%）、天生桥一级坝（1.89%），接近乌鲁瓦提坝（0.33%）及关门山坝（0.15%），沉降量处于较低水平。坝体外部沉降：坝顶下游垂直位移 41.0~67.0mm，后坝坡 22.0~42.0mm，均小于规范允许值，且 2015 年后沉降趋于稳定，表明坝体堆石压实度良好，变形已完成固结。

表 1 国内外已建面板坝周边缝变形统计表

坝名	坝高 (m)	周边缝变形 (mm)			备注
		沉降	剪切	张开	
乌鲁瓦提	133	22.83	4.2	6.8	
中葛根	82.9	57.3	20.8	36.7	
萨尔瓦兴娜	148	19.5	15.4	9.7	
阿里亚	160	55	25	24	
安奇卡亚	140	106	15	125	
格里拉斯	127	36		100	
谢罗罗	125	>50	21	30	
利斯	122	70		7	
马琴托士	75	20.0	3.0	5.0	
成屏一级	74.6	28.16	20.58	13.13	
西北口	95	10.4		6.8	
白溪	124.4	29.43	13.36	11.15	
天生桥一级	178	28.48	20.81	20.92	

注：其他大坝为 2010 年以前的数据，中葛根大坝为 2025 年 10 月 30 数据。

3.3 土压力监测分析

土压力计布设与沉降监测对应，1545.0m、1565.0m、1583.0m 高程均设单向及三向土压力计。施工期土压力随填土高度增大而增加，蓄水后趋于稳定。监测结果符合“水平方向（0°）>45° 方向>垂直方向（90°）”的分布规律，坝轴线处土压力大于上下游侧，与混凝土面板堆石坝土压力传递特性一致。

2025 年 10 月，坝轴线处 1545.0m、1565.0m、1583.0m 高程水平方向土压力分别为 0.983MPa、0.714MPa、0.207MPa，随高程升高递减，符合自重应力分布规律。与乌鲁瓦提坝对比，中葛根坝轴线处土压力实测值/计算值比值为 0.14~0.88，其中低高程（1545.0m）比值 0.88，与乌鲁瓦提坝（0.76~0.83）接近，高程越高比值越小，主要因高高程堆石压实度更优、侧向约束更小，土压力传递更均匀。

4 监测结论与建议

4.1 主要结论

（1）监测系统运行可靠：115 支监测仪器完好率 95.6%，长期监测数据连续完整，为大坝安全评估提供坚实数据支撑。

（2）防渗性能良好：坝基渗透水位随库水位同步变化，帷幕削减水头 75%以上；面板接缝及脱空量较小，无防渗失效风险；仅高水位时两岸坡存在绕坝渗流，未影响大坝整体防渗安全。

（3）变形稳定可控：周边缝、板间缝变形符合混凝土面板堆石坝变形规律，与国内外同类大坝相比处于合理范围；坝体总沉降量占坝高 0.42%，2015 年后趋于稳定，满足规范要求。

（4）应力分布合理：土压力随高程递减，方向分布符合规律，坝体结构受力稳定，无应力集中现象。

(5) 渗流量阈值明确: 库水位 1581.38m 为渗流量突变临界值, 超过该水位后绕坝渗流主导渗流量增长, 需重点防控。

4.2 工程建议

(1) 优化高水位运行策略: 库水位控制在 1581.0 m 以下, 如需超水位运行, 需加密渗流量及两岸坡测压管监测频次 (建议每 2 小时一次), 实时跟踪绕坝渗流变化。

(2) 强化绕坝渗流防控: 对两岸坡防渗薄弱区域进行专项勘察, 必要时采用帷幕灌浆补强; 在坝后增设渗流观测井, 细化绕坝渗流路径监测。

(3) 完善监测系统: 更换损坏的 P2、UP6 等仪器, 在 1581.0m 高程增设水位预警装置; 升级数据采集系统, 实现渗流量、水位数据实时传输及异常报警。

(4) 开展长期沉降观测: 虽然坝体沉降稳定, 但建议每 5 年进行一次全面沉降观测, 结合数值模拟预测

长期变形趋势, 为大坝老化评估提供依据。

参考文献

- [1] 中华人民共和国水利部. SL551-2012 混凝土面板堆石坝安全监测技术规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [2] 何蕴龙, 李建林. 混凝土面板堆石坝变形特性及监测技术研究[J]. 水利学报, 2018, 49(3): 321-330.
- [3] 新疆水利水电勘测设计研究院. 奇台县中葛根水库工程初步设计报告[R]. 乌鲁木齐: 新疆水利水电勘测设计研究院, 2010.
- [4] 张丙印, 郭晓霞. 堆石坝土压力监测数据解读与应用[J]. 岩土工程学报, 2020, 42(5): 890-898.
- [5] 水利部大坝安全管理中心. 全国混凝土面板堆石坝安全监测成果汇编[C]. 南京: 水利部大坝安全管理中心, 2022.