

尾矿库自动化安全监测系统方案

南京葛南实业有限公司

www.njgn.com

njgn@njgn.com

025-68891111

2011-04-25

1、设计背景

目前，我国尾矿库数量多、分布广，许多尾矿库已运行了多年，库容量在逐渐减小，抵制自然灾害的能力不断下降，安全隐患日益增多。尾矿库的安全关系到其影响区域内人民生命财产及环境的安全，故而搞好尾矿库的安全监测意义重大。然而，许多尾矿库管理由于检测监控系统不完备、检测监控技术落后，专业检测人员缺乏等原因，有些处在无检测监控状态，有些虽有人工定期用传统仪器到现场进行测量，但受天气、人工、现场条件等诸多因素的影响，存在一定的系统误差和人工误差，这些都影响着尾矿库的安全生产和安全管理水平。因此，采用现代通信、电子设备及计算机技术实现对尾矿库监测指标数据实时、自动监测，是对尾矿库的安全监管一条必由之路。

事实上，于 2011 年 5 月 1 日起正式实施的《尾矿库安全监测技术规范》（以下简称《规范》）中已明确规定，尾矿库的安全监测，必须根据尾矿库设计等别、筑坝方式、地形和地质条件、地理环境等因素，设置必要的监测项目及其相应设施，定期进行监测。一等、二等、三等尾矿库必须安装在线监测系统。

正是基于以上背景，我公司按照《规范》标准，根据尾矿库安全监测要素特点，结合本公司现有安全监测产品设备，设计制定了本方案。

2、系统构架

《规范》中规定，一等、二等、三等、四等尾矿库应监测位移、浸润线、干滩、库水位、降水量，必要时还应监测孔隙水压力、渗透水量、混浊度。其中绝大部分监测项目可以以我公司针对土石坝和桥梁的自动监测系统为原型，根据尾矿库特点及监测规范稍加修改、优化，形成专门针对尾矿坝的自动监测系统。再结合其他项目已有的监测方案，如视频监测系统、GPS 三维位移监测系统，一起构成本监测方案。

我公司原有针对土石坝和桥梁的自动监测系统已运用于全国各地多个项目，相对比较成熟，主要基于 MCU-32 型分布式模块化自动测量单元（以下简称“MCU”），将大多数监测仪器汇总至 MCU，由 MCU 负责统一测量数据、转发至计算机等。其他不利于集成的设备（如距离原因），直接传输至计算机。各种监测数据经自动监测系统软件计算、分析、处理、显示、存贮、导出。

现针对尾矿库修改后的整体结构如下图所示，图中通讯方式已 GPRS/CDMA 无线传输为例，采集中心假定设置与企业厂区，具体情况依实际需求而定。

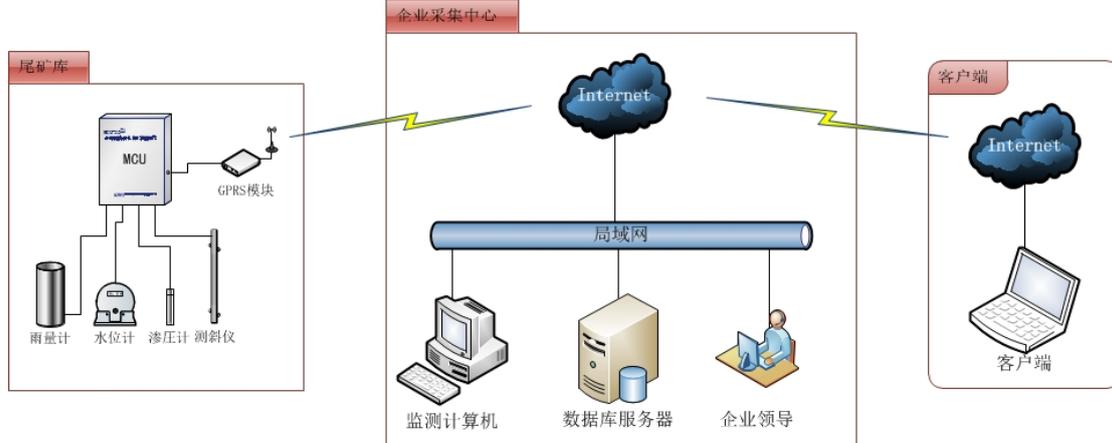


图 1：基于 MCU 的尾矿库监测系统结构图

3、系统监测方法及原理

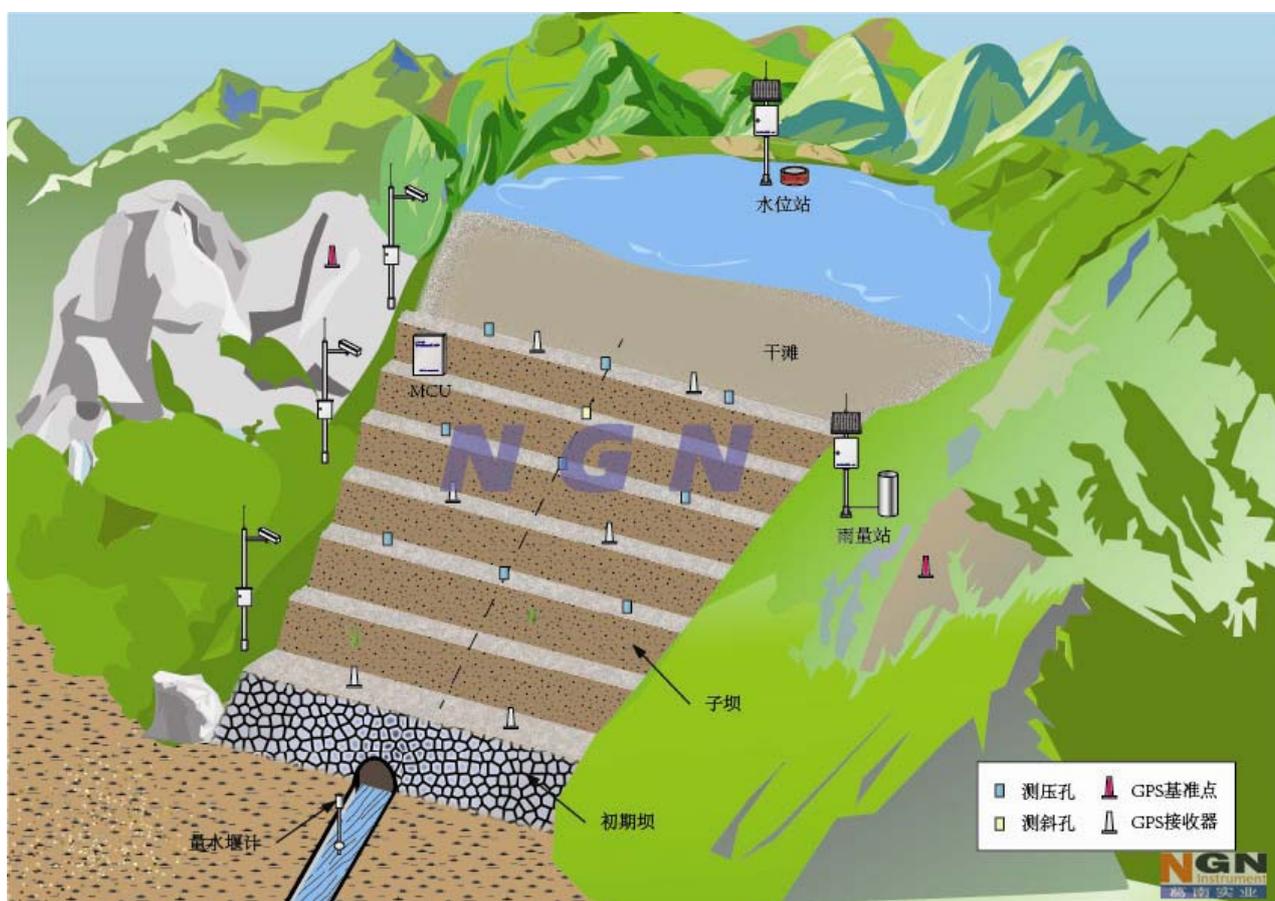


图 2：尾矿库安全监测仪器设备布设示意图

3.1 位移监测

位移监测包括坝体和岸坡的表面位移、内部位移。

3.1.1 表面位移

表面位移包括水平位移和垂直位移。

传统的测量方法将水平、垂直位移分开施测，但仪器设备繁多、安装复杂、测量结果无法同时等优点使得坝体位移无法自动化、实时化的连续观测。最好采用三维位移监测法，即一个监测点同时测量水平位移和垂直位移数据。

目前三维位移监测主要有两种实现方法，分别是 GPS 法和自动型全站仪极坐标差分法。

两种方法原理不同，但仪器安装位置大体相同，先是在坝体两侧山体岩石或坚实土基上安装一两个基准点，再在坝体上安装若干测点，通过比对基准点坐标得出测点相对于基准点的三维位移。

监测断面应选择最大坝高断面、有排水管通过的断面、地基工程地质变化较大的地段及运行有异常反应处。初期坝顶和后期坝顶各布设一排，每 30~60m 高差布设一排，一般不少于 3 排。图 2 中选择了两个断面，分别在初期坝顶和后期坝顶布置了一个测点，中间处布置了一个测点；应根据坝长增减监测断面，一般坝长小于 300m 时，宜取 20~100m；坝长大于 300m 时，宜取 50~200m；坝长大于 1000m 时，宜取 100~300m。

GPS 法每个测点通过无线传输与计算机通信，计算机软件分析对比各点坐标算出测点位移；而自动型全站仪极坐标差分法在布置测点后，还需建立全站仪观测站，使得观测站与各测点间可视，全站仪通过无线传输与计算机通信，计算机软件控制测绘计算得出测点位移。

测点安装方法见我公司相关说明。

3.1.2 内部位移

内部位移包括内部水平位移、内部竖向位移。

坝体内部水平位移采用在坝面上竖直向下钻测斜孔，在孔内分段布置固定测斜仪，固定测斜仪通过仪器电缆与 MCU 电压电流模块相连，自动监测系统软件测得孔内各点位移得出坝体整体水平位移。

视尾矿库的等别、坝的结构型式和施工方法以及地质地形等情况，设 1~3 个断面。每个监测断面上可布设 1~3 条监测垂线，其中一条宜布设在坝轴线附近。监测垂线的布置应尽量形成纵向监测断面。图 2 中仅在坝体中间设了一个断面，该断面仅布设了 1 条监测垂线。该断面仪器布设示意图如图 3 所示，图中可以看到，该监测垂线测斜管内均匀放置了 3 个固定测斜仪，测斜仪的间距，应根据坝高、结构形式、坝料特性及施工方法与质量等而定，一般 2~10m。每条监测垂线上宜布置 3~15 个。

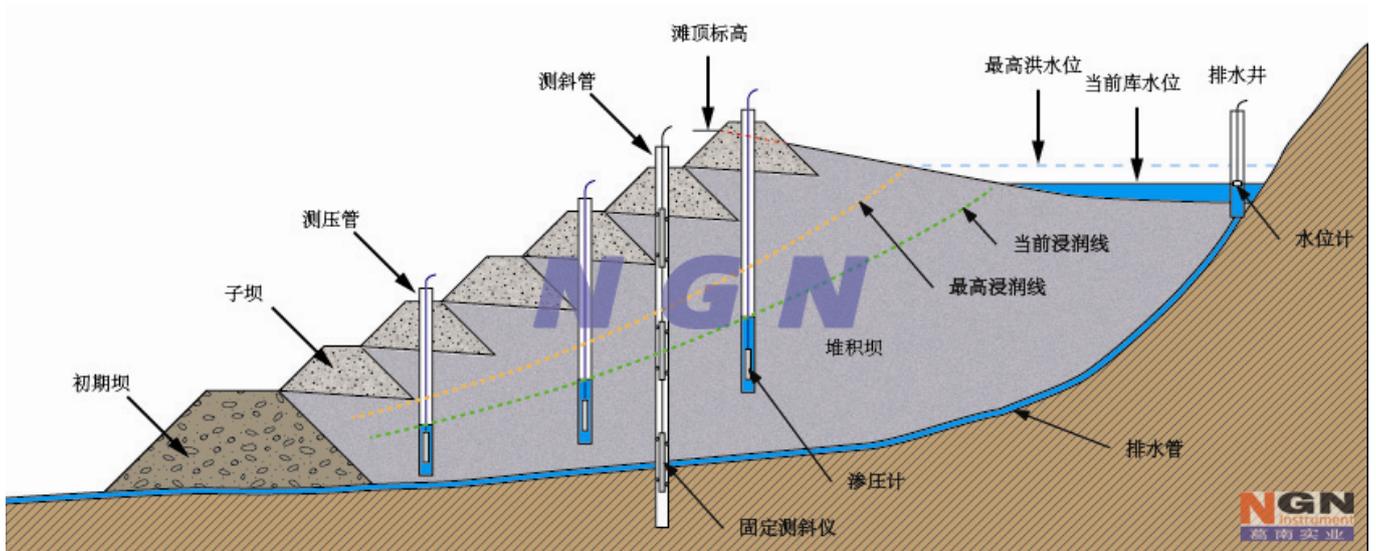


图 3：尾矿库某断面监测仪器布设示意图

3.1.3 岸坡位移

对于危及尾矿坝、排水构筑物及附属设施安全和运行的新老滑坡体或潜在滑坡体应进行监测。

应能掌握滑坡体范围及位移分布规律。通常顺滑坡方向布设 1~3 个监测断面，包括主滑断面及其它特征断面。

监测设备和方法同坝体表面和内部位移。

3.2 渗流监测

尾矿坝渗流监测，包括渗流压力、绕坝渗流和渗流量等监测。

3.2.1 坝体渗流压力

坝体渗流压力监测，包括监测断面上的压力分布和浸润线位置的确定。

在坝体内布置断面，每个断面布置若干监测点，监测点处竖直向下钻渗压孔、安装测压管及振弦式渗压计，渗压计通过仪器电缆连接 MCU 振弦测量模块，自动监测系统软件通过 MCU 测得断面内各渗压计的渗流水压力，将各点压力值换算为水位值，连成曲线得出浸润线。

监测横断面宜选在有代表性且能控制主要渗流情况的坝体横断面以及预计有可能出现异常渗流的横断面，一般不少于 3 个，并尽量与位移监测断面相结合。

监测横断面上的测点布置，应根据坝型结构、断面大小和渗流场特征确定。宜在堆积坝坝顶、初期坝上游坡底、下游排水体前缘各布置 1 条铅直线，其间部位每 20~40m 布设 1 条铅直线，埋深应参考实际浸润线深度确定。

图 2 中设了 3 个断面，每个断面设了 3 个测点。

测压孔、渗压计安装方法见我公司相关资料。

3.2.2 绕坝渗流

绕坝渗流监测，包括两岸坝端及部分山体、坝体与岸坡或混凝土建筑物接触面、两岸接合部等关键部位的渗流监测。

尾矿坝两端的绕渗监测，宜沿流线方向或渗流较集中的透水层（带）设 2~3 个监测断面，每个断面上设 3~4 条监测铅直线（含渗流出口）。如需分层监测，应做好层间止水。

尾矿坝与刚性建筑物接合部的绕渗监测，应在接触轮廓线的控制处设置监测铅直线，沿接触面不同高程布设监测点。

在岸坡防渗齿槽和灌浆帷幕的上下游侧各设 1 个监测点。

监测仪器和方法同坝体渗流。

3.2.3 渗流量

在坝基渗流出水口布设量水堰堰槽，堰槽上安装磁伸缩量水堰计，分辨率为 0.5mm。量水堰计可接入 MCU 电压电流测量模块，也可设为单独的量水堰站，直接与计算机通信。MCU 或计算机测得堰上水头，再根据公式算出渗流量。

对坝体、坝基、绕渗及导渗（含减压井和减压沟）的渗流量，应分区、分段进行测量；所有集水和量水设施均应避免客水干扰；对排渗异常的部位应专门监测。

量水堰的安装方法见《规范》和我公司相关资料。

3.3 干滩监测

包括滩顶高程、干滩长度、干滩坡度。

3.3.1 滩顶高程测定

7.2.1 尾矿库滩顶高程的测点布置，应沿坝（滩）顶方向布置测点，当滩顶一端高一端低时，应在低标高段选较低处检测 1~3 个点；当滩顶高低相同时，应选较低处不少于 3 个点；其它情况，每 100m 坝长选较低处检测 1~2 个点，但总数不少于 3 个点。

7.2.2 滩顶高程测量误差应小于 20mm。各测点中最低点的标高作为尾矿库滩顶标高。

7.2.3 滩顶高程根据滩顶上升情况，定时做好检测，随时掌握滩顶高程，汛前必须检测一次。

3.3.2 干滩长度测定

7.3.1 视坝长及水边线弯曲情况，选干滩长度较短处布置 1~3 个断面。测量断面应垂直于坝轴线布置，在几个测量结果中，选最小者作为该尾矿库的沉积滩干滩长度。

7.3.2 应在干滩设立干滩长度标尺，干滩较长时以 50m 为间隔，较小者以 10m 为间隔。

7.3.3 在干滩长度发生较大变化时，及时检测，随时掌握干滩长度，汛前必须检测一次。

3.3.1 干滩坡度测定

7.4.1 检查尾矿库沉积滩干滩的平均坡度时，应视沉积干滩的平整情况，每 100m 坝长布置不少于 2 个断面。测量断面应垂直于坝轴线布置，测点应尽量在各变坡点处进行布置，且测点间距不大于 10~20m（干滩长者取大值），测点高程测量误差应小于 5mm。

7.4.2 尾矿库沉积干滩平均坡度，应按各测量断面的尾矿沉积干滩平均坡度加权平均计算。

7.4.3 干滩坡度与设计不符时应采取相应的处理措施。

7.4.4 干滩坡度根据坡度变化情况，一季度检测一次，随时掌握干滩坡度，汛前必须检测一次。

3.3 水文、气象监测

包括库水位、降水量监测和排水构筑物检查。

3.4.1 库水位监测

库水位测量仪器可以采用振弦式渗压计，通过压力换算得出水头，渗压计通过仪器电缆连接至 MCU，由 MCU 定时采集；或者采用浮子式水位计，精度为 10mm，直接与计算机通信采集，可在水位变化时自动发送报文，或由计算机控制定时采集。

测量仪器可安装于排水井、排水斜槽上。

3.4.2 库区降水量监测

监测设备用翻斗式雨量器，分辨率为 0.5mm，安装于坝上或山坡开阔地，当安装地点距 MCU 较近时，可以直接接入 MCU 主控模块，当距离较远不利于拉线时，亦可采用单独的遥测雨量站，直接与计算机通信。当有降雨量发生时，MCU 或遥测雨量站自动给计算机发送报文。

3.4.2 其他

一些非必要监测项目如气温、气压、相对湿度、渗透水质情况等都可以接入 MCU 或直接并入自动监测系统软件。

3.4 在线视频监控系统

库区构筑物有无变形、位移、损毁、淤堵，排水能力是否满足要求等都需要定时现场巡视、检查。库区距离较远、坝高较高等因素都使得正常的巡视工作耗费大量人力，一套先进的在线视频监控系统使得普通巡视、检查变得更简单，也使得观测员、各级领导能够实时直观的观察到库区各部分实际状态。

摄像装置采用球型或枪型摄像头，分别于大坝上游、坝体、下游边坡上安装，可配夜用照明灯。通讯方式可选择有线光纤、互联宽带、3G 网或无线网桥，中心计算机安装监控软件，可手动控制云台方向。

3.5 自动监测系统软件

3.5.1 数据采集

采集方式多样化，包括可指定采集时间、采集间隔、采集次数的定时采集，可被动接收设备自动上报的数据，可选点测量或多点巡测等。

数据显示直观化，对各种传感器采集到的数据按各自原理公式算出物理量，按测点、时间排序显示采集到的数据，将采集到的数据及时绘制成便于观察的数据图线。

超限数据报警，当采集到的数据计算出的物理量超过设置的报警值时会采用多种报警方法提示观测员，包括文字闪烁、播放报警音和手机短信通知等。

3.5.2 数据管理

对存储在数据库中的历史采集数据进行筛选查询、删除、清空、导出 Excel 工作簿、打印等。

3.5.3 监测报表

将采集到的历史数据按传感器类型、监测内容划分，绘制出图片加数据的报表。

包括库水位过程线、浸润线、测斜孔位移曲线、渗流量过程线、坝体表面位移过程线、雨量日报表、雨量月报表、雨量年报表等。

3.5.4 传感器设置

设置所接传感器位置信息、计算参数等系统必要信息，以便计算分析物理量。

3.5.5 系统设置

系统运行参数设置。

——计算机系统，与数据采集装置连接在一起的监控主机和监测中心的管理计算机配置应满足在线监测系统的要求，并应配置必要的外部设备。

——数据通信，数据采集装置和监控主机之间可采用有线和（或）无线网络通讯，尾矿库安全监测站或网络工作组应根据要求提供网络通信接口。

9.2.3 在线监测系统软件应包括在线采集和安全监测管理分析两个模块。安全监测管理分析模块应具备基础资料管理、各项监测内容适时显示发布、图形报表制作、数据分析、综合预警等功能。其中数据分析部分应包括各项监测内容趋势分析、综合过程线分析等内容。

3.2 监测资料的整编与分析

3.2.4 一般规定

11.1.1 每次仪器监测或安全检查后应对监测记录进行整理，及时做出初步分析。每年应至少进行一次监测资料整编。在整理和整编的基础上，应定期进行资料分析。

11.1.2 下列情况应专门进行资料分析，并提出资料分析报告：

- 尾矿库竣工验收时；
- 尾矿库定期安全检查评价时；
- 尾矿库闭库时；
- 出现异常或险情状态时。

11.1.3 资料整理和分析中，如发现异常情况，应及时做出判断，有问题及时处理上报。

11.1.4 整编成果应做到项目齐全、考证清楚、数据可靠、图表完整、规格统一、说明完备。

11.1.5 应建立监测资料数据库或信息管理系统。

11.1.6 工程施工阶段和试运行阶段，宜根据理论计算或模型试验成果，并参考类似工程经验，对一些重要监测项目提出预计的测值变化范围，提出设计监控指标。在尾矿库投入运行后，宜定期根据实测资料建立数学模型，提出或调整运行监控指标。

3.2.5 资料整理和整编

11.2.1 人工监测、在线监测和安全检查均应做好所采集数据或所检查情况的原始记录。记录应有固定的格式，数据和情况的记载应准确、清晰、齐全，应记入监测日期、责任人姓名及监测条件的必要说明。

11.2.2 应做好原始监测数据中监测物理量的计算、填表和绘图，初步分析和异常值之判识等日常资料整理工作。

11.2.3 监测资料除在计算机磁、光载体内存储外，应定期打印主要图表供查用。

11.2.4 每年汛前必须将上一年度的监测资料整编完毕。资料整编应包括整理后的资料的审定及编印等工作。

11.2.5 凡历年共同性的资料，若已在前期整编资料中刊印，且其后不再重印时，应在整编前言中说明已收入何年整编资料。

3.2.6 资料的分析

11.3.1 资料分析的项目、内容和方法应根据实际情况而定，对于坝体位移监测、浸润线监测及安全资料的资料必须进行分析。

11.3.2 资料分析通常采用比较法、作图法、特征值统计法及数学模型法。使用数学模型法作定量分析时，应同时用其它方法进行定性分析，加以验证。

11.3.3 资料分析应分析了解各监测物理量的大小、变化规律、趋势及效应量与原因量之间（或几个效应量之间）的关系和相关的程度。有条件时，还应建立效应量与原因量之间的数学模型，借以解释监测量的变化规律，在此基础上判断各监测物理量的变化和趋势是否正常、是否符合技术要求；并应对各项监测成果进行综合分析，发现尾矿库的异常情况和不安全因素；评估尾矿库的安全状态，预报将来的变化趋势。

11.3.4 资料分析后，提出资料分析报告，资料分析报告的主要内容：

——监测设备情况的述评，包括设备、设施的管理、保养、完好率、变更情况等。

——安全检查开展情况，主要成果、结论。

——监测资料整编、分析情况，主要成果、结论。

——对改进安全管理工作和运行调度工作的建议。

11.3.5 通过监测数据整编、分析，为尾矿库设计及安全评价提供可靠依据。

11.3.6 监测报告和整编资料，应按档案管理规定，及时存档。