

# 当心高危大坝

## 应用案例



美国陆军工程兵部队建成的用于防洪举措的塔特尔溪大坝坐落在大布卢河上，距堪萨斯州的曼哈顿北部五英里。该大坝矗立在冲击地基上，由碾压式土石和堆石构成，高约 137 英尺、长约 7500 英尺。大坝可以拦截塔特尔湖的湖水，该湖正常蓄水时达 333,100 英亩-英尺（一英亩深度为一英尺的水的体积），发生洪水时蓄水大概为 190 万英亩-英尺。

该大坝存在以下诸问题：大坝据洪堡断裂带12英里，该断裂带可是局部地震发生的“热点”，产生 5.7 到 6.6 震级地震的可能性虽小，但确实有这种隐患。地震可能引起我们所熟知的溶解，大坝地下的泥土（主要是泥沙和沙子）由相当坚实变得松动而相当危险。

1989 年期间旧金山发生了洛马普列塔地震，造成该市马里纳地区的地下土壤溶解，许多建筑物坍塌。如果塔特尔溪发生此类地震，可能会使大坝功亏一篑。2006 年美国陆军工程兵部队预计，地震每秒可能会释放 381,000 立方英尺洪水，淹没曼哈顿岛市中心部分地区深度达17英尺，1,3000 人中有 400 人会因此丧生，下游损失可达4亿5800万美元。该大坝甚至在历史频道设有专题“巨大灾难——溃坝”。

2002 年，军队使用各种手段着手保护大坝安全，措施有构筑水泥横向板加固大坝下方地基土壤。

但完成这一工程需要几年时间，下游区域仍危险重重。当时的解决方案是设置溃坝预警系统，发出声音警报人员疏散。

与全球工程、施工和技术服务公司优斯一道，陆军工兵部队承包下了塔特尔溪溃坝预警系统这一工程。

55,000名雇员来自世界各地，该公司有三个分部组成：优斯工程公司、EG&G国防服务公司以及华盛顿分部——大型承包公司和建筑商。

优斯工程公司主要是改造和扩建公共基础设施，包括地面、空中等公共交通、铁路运输网、港口和海港等。该分部还可以为供水系统、运输系统和其他处理系统提供项目管理，规划、设计和管理，建设和施工管理等服务。

溃坝预警系统有一些组件和子系统构成，但最开始是地质仪器的选择。

### 自动化地质仪器

设备包括传感器，主要用来测量地震摇撼、检验堤防/地基变形并监测地基孔隙压力这些设备通过无线电向关键系统建筑（CSB）发出数据，设备中许多都是太阳能的，不仅可以有效对抗断电情况，而且排除电压通过交流电源线冲击的可能性。

### 孔隙压力传感器

进行压力感测时，优斯经常使用振弦式压力计。

两头尖、封装在坚硬金属外壳的压力计打入大坝下周围土地 30 到 50 英尺深。通过电缆连接至太阳能数据记录器，该数据器依次向关键系统建筑中央计算机发送数据以供存储和分析。

传感器以频率形式输出信号，即使电缆损耗也可以在很远的距离外读取到该信号。

此外，内置的防护装置可对抗雷电冲击波，良好的防雷装置与接地系统相结合，数年都能提供很稳定的读数。

但初级项目工程师吉姆·赫默特——优斯系统工程副总裁也说，传感器也有缺点。获得每个传感器读数的时间大概是 1 秒。

这对于像长期性能监控大坝安全的应用程序不是问题（因为此类程序一天中一般获取几次读数），但对于预先警报系统来说太慢了，此类系统必须在地震发生后立即记录下孔隙压力信号。

赫默特解释说：“我们需要更快读取这些设备，这样便能够处理结果并运行一些类型的演示或报警检查协议来发出通知。”

由于上述原因，优斯增加了一套应变计压力传感器，输出电流是 4 至 20 毫安。这样，借助标准大坝安全数据采集设备，每秒可读取 10 到 15 甚至更多次数据。

## 遥控摄像机

由于经济型无线摄像机的实用性，该摄像机在领域内应用广泛。

溃坝预警系统中有三台摄像机，可以远距离监视地震后大坝的泄洪道、结构元件和堰流。它们通过 5.8GHz 无线电链接传输录像，接收操作员发出的操作命令后传到镜头，通过 900MHz 扩频无线电变焦倾斜。借助 IP 协议就可实现录像输出，所有相关人员都可查看。

## 自动化数据采集系统 (ADAS)

这个太阳能部件可接收所有地质仪器数据集并可发出警报。

## 变形监测设备

在感应地震失败案例中，坝顶下降达 30 英尺。早期预警系统中通过四种方式来感知监控此类地震。一种方法技术含量明显很低：坝顶和坝底一串太阳能“跑道”灯（正式的名称是“堤防对齐指示灯”），夜晚可以看到这些灯。

第二种方法有些复杂：沿坝顶通过水泥坠砣串起超 4000 英尺的线型系列嵌套循环电缆，埋在地下大概 2 英尺。正式称作“坝顶全面监控站”，是简单的一端短路双绞线电缆，它们的电阻由数据采集器持续监控。赫默特说：“我们测量出这些电缆的电阻，它们长度不同，”“所以如果大坝将要决堤，我们可以判断出大概决堤位置，以及决堤宽度。”

第三种方法是借助一组时域反射 (TDR) 电缆来检测地震后下游区域可能出现的移位情况。

TDR 电缆可用于连续测量沿给定电缆长度内土壤湿度、水平或垂直变形的变化。单个电缆长度限制在大概 2000 英尺。这种设备测量时可以是连续而不是离散点式的，离散式测量是大部分现在使用的地质/建筑仪器中的局限所在。

第四种方法是沿坝底放置一组自动倾斜仪。倾斜仪测量孔或孔内管道的“倾斜度”借助管道内的凹槽，倾斜仪沿管道滑下。一段时间后，如果管道向一侧移动一定角度，表示地面在移动并向一侧位移——此时会有关于其他事件发生的清晰警报标志。倾斜仪每隔 10 英尺分开安装，每增加 10 英尺记录下反复读数，这表示随时间推移后每个深度水平的倾斜性。

## 其他系统特征：

- 大坝安全状态指示器 (简称“DSSIs”)，专为急救员定制的警报通知设备。
- 网络门户，支持远程访问仪器数据、大坝安全状况、近期地震信息、摄像机图像及湖波水位数据。



鲍勃·弗雷齐使用 Fluke 1630 检查建筑周围所有地线，地线可接收到所有大坝周围及通过大坝的所有通讯。这些信息来自遥感器、视频和音频警报站。

- 临界系统建设具有丰富地震监测经验，实现了偏远地区 ADAS 与 DSSIs 及计算机的集合。该建设能够通过专用广域帧中继网络和备份卫星网络向偏远地区用户处理并传达警报、数据及影响信息。通过以太网进行实现 CSB 所有内部沟通。CSB 配备不断电系统和以丙烷为燃料的备用发电机
- 警笛预警系统，在疏散地区配置 4500 瓦固态音及具有语音功能的报警器；警报音含语音警报，龙卷风警报和疏散。
- 需要特殊疏散关注的室内音警报单元，例如学校，日托中心及老人和残疾人专用设施。
- 为附近社区设置的教育和疏散计划。

### 警报鸣响后会发生什么

如果大坝的强震（SMA）单元检测到中强震（4.5 震级以上）的相应地面震动反应，自动拨号器将会拨打关键联系人，并对其播放预录制的信息，详细告知检测到的大坝情况。此外，DSSI 单元可以通过使用彩色指示灯显示偏远地区大坝的不同安全状况。

如果 SMA 单元检测到强震（5.7 震级以上）的相应地面震动反应以及对大坝的破坏性，DSSI 单元同样会显示延时器，并在自动激活下游警报前延时 30 分钟至 2 小时。该延时为 USACE 大坝评估和停止自动激活警笛预警系统的可能性（或启动手动激活）提供了缓冲时间。

### 坚持采用 Fluke 设备进行工作检测

所有子系统及组件都需要悉心设置、维护及故障排除，因此，URS 现场的人们几乎全部使用 Fluke 设备。就拿防雷和接地来说。堪萨斯州由于经常受强雷雨天气影响，因此设备的浪涌防护是必须的。

“我们花了很长时间设计该系统项下的接地系统及防雷系统，” URS 公司场地总监 Bob Frazey 说道。“多数情况下，我们要在大坝堤岸、或仪器通道下方、或发电厂房通过远程采集数据，这是相当复杂的数据采集单元，所以当我们设计接地系统，接地导体等，我们要检查我们所使用的各种连接器之间的接地电阻，联接电阻。” Frazey 采用 Fluke 1630 型接地钳形表来检测设备接地和防雷接地安装。

Frazey 使用若干 Fluke 设备来检测应变计土壤孔隙压力传感器以及设备上 4 至 20 毫安的测量回路。采用 Fluke 709H 回路校验仪来同时检测 4 至 20 毫安设备和控制器，以及 773 型钳形表对监视器进行处理，测验并调整 4 至 20 毫安系统控制，而不对电流造成任何破坏。URS 的高级顾问表示：“在安装时，我们始终检查并确认是否是零值，满值还是一些中间值。”

Frazey 采用 Fluke 189 数字万用表及其附件 Fluke i1010 放大器夹进行一般性的电压和电阻测试，以及直推式震动线压力变送器传感器检测。他同样用 Fluke 189 直流/交流放大器钳来检测太阳能充电系统和电池的安培数。Zimmer 补充说：“还有一种检查太阳能充电系统的方式。”将所有的设备向上钩，然后随着时间推移检查电池电压。“我们通常站着观察 5 到 10 分钟确保事情向着我们所期待的方向发展。”



Bob Frazey 负责横跨大坝基底的一个传感器服务仪表板。这些服务仪表板皆为低压仪表板，房屋地面膨胀传感器通信和支持系统。他使用 Fluke 189 数字万用表检测来自附近一个太阳能电池板的 12 伏直流电池充电系统。他同样使用 Fluke 773 毫安级过程钳形表来检测来自压力传感器和换能器的 4 mA 至 20 mA 的信号。



Fluke 1630 还可以用来检测位于桅杆上的无线电天线和太阳能充电板地线。Frazey 还用 Fluke 189 数字万用表及 Fluke i410 电流钳查看服务仪表板内太阳能充电板至电池充电器的电流输出状况。

“Fluke 189 数字万用表也会偶尔被用来检查电子元件，温度探针用来检查水泵控制箱的几个小空调系统，” Frazey 补充说。

在以太网中采用 Fluke 网络 MicroScanner 2 电缆检测仪及探针信号示踪访问器对 CAT 5-6 以太网电缆进行制造，检查及维修。Zimmer 说：“MicroScanner 为以太网电缆连接前的检查提供了很大帮助，因为我们制造的电缆经常会稍微长些，而不会只是购买小3英尺；我们经常把电缆线扎在外面，比如我知道在塔特尔溪这样的地方，通过地下管道布线前不得不检查一下。” MicroScanner 使他们意识到以太网电缆连接器的品牌选择问题并提醒他们更换供应商。MicroScanner 用来测试开路 and 闭路电缆长度，并偶尔用来检查和维修同轴电缆。

Frazey 使用 Fluke 971 温湿度测试仪来监测大坝走廊上的环境条件，防止控制盒内部发生冷凝。另外，他必须创建一个移动电子实验室及小型器械车间用于进行系统安装和维修。

**总结：**

塔特尔溪溃坝预警系统于 2005 年 3 月竣工。该系统与美国咨询工程理事会共同荣获了 2006 年的大奖（ACEC 密苏里州章）。URS 将数个相似系统应用在其他地区，包括肯塔基州的狼溪坝。

近期，该坝的基础修建工作已完工。今年年底，一旦墙壁加固及地下集水系统完工，DFWS 将会被取代。届时原警报系统将被移交至莱利县，并成为该县现有龙卷风警笛预警系统的一部分。同时，URS 将继续提供运行和维护支持。

URS 的人们似乎非常热衷 Fluke 设备。“这些年，我一直在推荐 Fluke 设备，” Zimmer 说，“当我们外出使用设备工作时，我从不担心设备停止工作，因为我知道 Fluke 设备永远不会停止工作。” “所以我一直认为他们的工具非常好用，并且经常购买，因为我从不担心它会坏掉。



**Fluke. Keeping your world up and running.®**  
**福禄克，助您与时代同步！**

福禄克中国客户服务中心：4008103435

联系我们：chinainfo@fluke.com

英文网址：www.fluke.com

中文网址：www.fluke.com.cn

北京办事处 电话：(010)65123435

济南联络处 电话：(0531)86121727

上海办事处 电话：(021)61286200

沈阳联络处 电话：(024)22813668/9/0

成都办事处 电话：(028)85268810

南京联络处 电话：(025)84731286

西安办事处 电话：(029)88376090

乌鲁木齐联络处 电话：(0991)3628551

深圳办事处 电话：(0755)83680030

广州分公司 电话：(020)38795800

重庆联络处 电话：(023)89061906-120

北京维修站 电话：(010)65123435

武汉联络处 电话：(027)85743386