数字大坝系统在长河坝电站大坝工程中的应用

孙 周 辉
(四川二滩国际工程咨询有限责任公司,四川 成都 610072)

摘 要:数字化大坝系统作为现代化的监控手段进入土石坝施工监控,对土石坝的施工质量管控来说是一个新方法、新手段、新技术。由于目前还没有形成规范,相关记录和过程监控结果未作为评价质量的标准,仅是对过程控制的加强,现阶段由于数字化监控和常规的试验检测同步进行,并未减少常规检测的频次,工程采用本系统后直接的经济效益并不明显,但是系统使用后,在质量、进度控制上的贡献非常突出:缩短了施工质量检查的时间,优化了碾压分区,提高了坝面平仓及碾压设备的使用效率,施工质量大幅提高后,现场返工处理大幅度减少。

关键词:数字大坝;GPS 监控;视频监控;高土石坝;长河坝水电站
中图分类号:TV42 + 1.1;[TM622] **文献标识码**: B **文章编号**:1001-2184(2015)05-0139-05

1 工程概况

长河坝水电站位于四川省甘孜藏族自治州康定县境内,为大渡河干流水电梯级开发的第10级电站,正常蓄水位下库容为10.75亿 m^3,是一等大(1)型水电工程。长河坝水电站枢纽建筑物主要由砾石土心墙坝、泄洪系统、引水发电系统组成,电站装机容量2 600 MW。

长河坝大坝坝顶高程1 697 m,最大坝高240 m,坝顶宽16 m,长502.85 m,上下游坝坡均为1∶2。心墙上、下游侧设反滤层,过渡层及堆石区。堆石与两岸岩坡之间设置3 m厚的水平过渡层,大坝整体填筑方量3 400万 m^3。

2 数字大坝系统

数字大坝的概念正式提出并成功应用于工程,一是基于仓面施工数据采集和智能温控的溪洛渡数字混凝土坝,二是基于施工质量实时监控的糯扎渡数字堆石坝。源自糯扎渡数字大坝的成果,在不断发展中向龙开口、梨园、鲁地拉、溧蓄等工程推广应用,技术逐步成熟,目前在长河坝电站的建设中得到了全面的应用和完善。长河坝数字大坝监控主要包括:大坝填筑碾压过程实时监控系统;上坝运输过程实时监控系统;石料运输车辆自动加水与监控系统;大坝施工信息PDA采集系统;灌浆信息采集与分析系统;"数字大坝"综合信息集成系统。

3 数字大坝系统的主要模块

收稿日期:2015-09-23

3.1 大坝填筑碾压过程实时监控系统

用于大坝碾压的设备均安装高精度GPS移动终端,通过基站进行信号处理和信息传送,可实现现场分控室对碾压设备的碾压过程进行实时监控。该系统可实现以下功能:(1)实时监控碾压轨迹、碾压速度,当碾压速度超标时,通过监控终端显示和手机PDA短信自动报警;(2)监测碾压遍数和振动状态,可随时生成碾压遍数图形报告、高振遍数图形报告、静压遍数图形报告,随时对施工碾压仓面进行监控,指导现场碾压施工;(3)监测压实厚度,在仓面碾压完成后,可生成厚度报告,监控坝料铺料厚度;(4)保留所有仓面碾压数据,包括碾压时间段、碾压机械配置、碾压用时、碾压轨迹等情况,可根据此分析碾压机工作效率,合理配置碾压机械,提升管理水平(见图1)。

3.2 上坝运输过程实时监控系统

上坝运输的车辆都安装有车载GPS,通过车载GPS实时发送车辆状态信息,可实现料场至坝面的全过程监控。该系统主要可实现以下功能:(1)料源匹配动态监控与报警;(2)坝面卸料地点监控与报警;(3)各分区不同来源的各种坝料的上坝强度统计;(4)运输道路行车密度统计;(5)车辆空满载状态监测;(6)不同料场堆石料运输量、运距的精确统计(见图2)。

3.3 石料运输车辆自动加水与监控系统

通过在每台运输车上安装车载的无线射频卡,并将该车信息输入车载卡片,在该车辆进入加

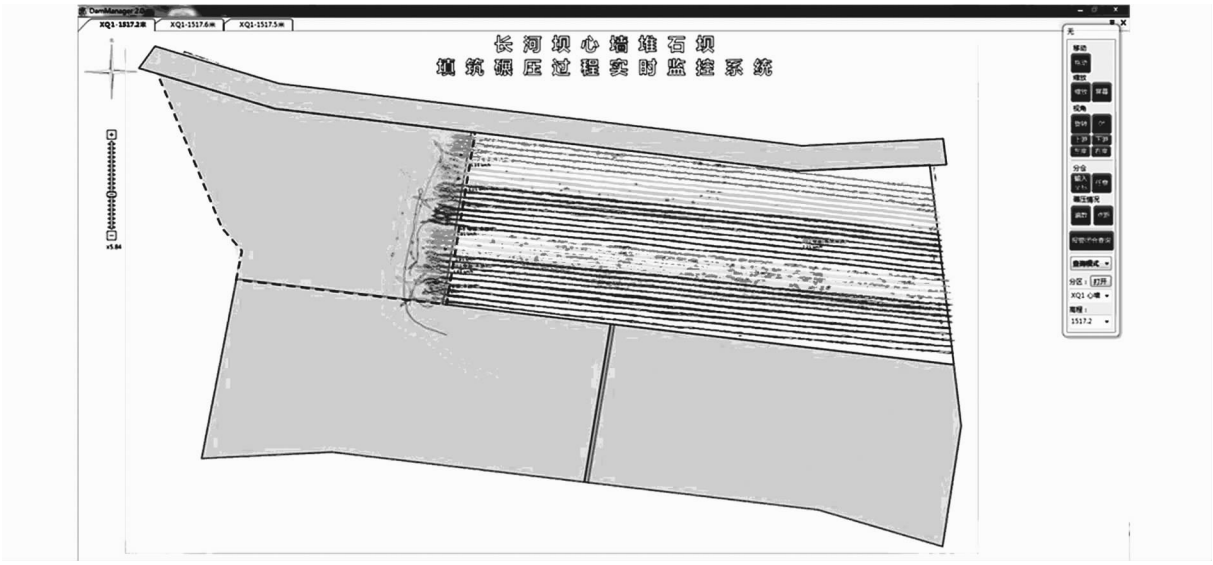

图 1　长河坝心墙区域填筑碾压过程实时监控系统界面图

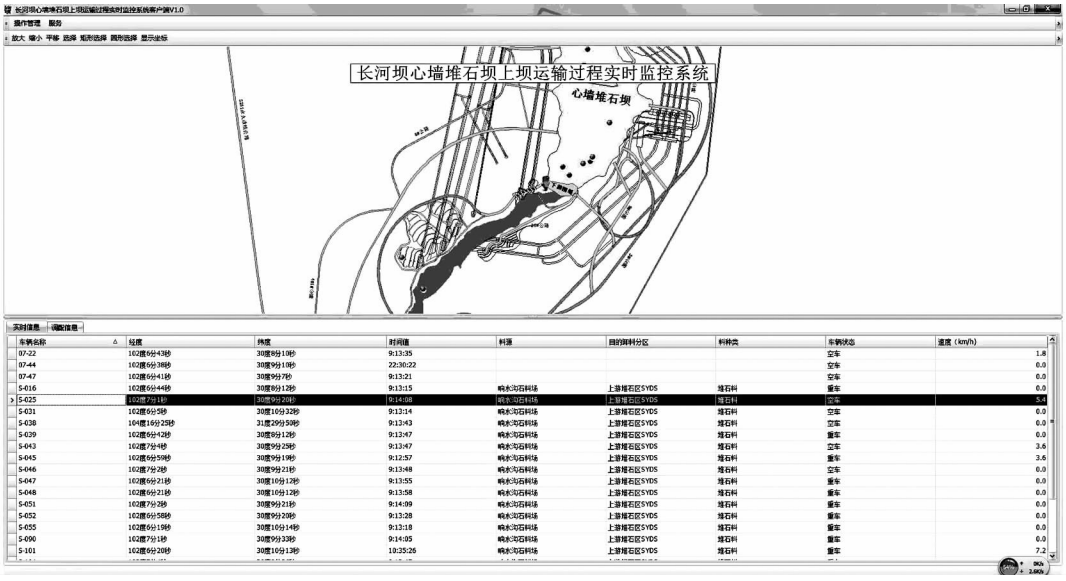

图 2　长河坝心墙堆石坝上坝运输过程实时监控系统界面图

水区后,读卡器根据感应的车辆信号,实现自动加水和统计,并将加水信息传到服务器进行评判,若加水不达标,则通过 PDA 和监控 PC 终端报警,同时在现场也采用 LED 屏幕对车辆加水信息进行实时显示,便于司机按照要求加水,加水未完成前不得离开加水区域。

3.4　大坝施工信息 PDA 采集系统

对于不能应用监测设备自动采集的重要工程信息,主要包括:大坝碾压信息(碾压机械参数、试坑取样参数及现场图片等)和上坝运输车辆信息(车辆载料性质、始发料场、目的卸料分区),需采用手持 PDA 进行现场数据的实时采集。当施工过程中上坝运输车辆的装载料源和卸料分区发生变化时,要采用手持 PDA 做车辆信息的实时修正和调度车辆。

3.5　灌浆信息采集与分析系统

利用坝区建立的无线网络平台与灌浆记录仪无线通讯端口和通讯协议实现数据采集,将灌浆记录仪的数据集成到数字大坝系统中,进行统一的集成管理、统计与查询。

3.6　“数字大坝”综合信息集成系统

将长河坝水电站设计、建设和运行过程中涉及的各种工程信息、安全监测信息等进行动态采集与数字化处理,构建长河坝水电站大坝综合数

字信息平台和三维虚拟模型,把空间信息以三维形式直观地表现出来,在虚拟的“数字大坝”环境下,实现各种工程信息的集成化、可视化管理。

“数字大坝”综合信息集成系统包括总控中心、分控站、GPS 基准站、服务器组,硬件设备包括碾压机监测设备(安装于碾压机上)、自卸车监测设备(安装于自卸车上)、PDA 设备等。

4　数字大坝系统的建设和运行

4.1　系统建设

数字大坝监控系统主要由施工设备监控终端、手持数字终端、卫星定位基准站、监控中心(总控中心和现场分控站、控制箱)、通信网络和应用软件等组成。

在选址时,宜在施工管理办公区布置总控中心;宜在大坝施工作业区建立高带宽的无线网络平台,在开敞区域布置现场分控站;应在施工控制区地势较高、交通便利、接收卫星信号连续的地方布置卫星定位基准站。分控站与总控中心之间采用高带宽的光纤网络进行连接减少干扰和延时,确保系统的安全稳定。

系统各组成部分的使用性能应相互匹配,选用的监控仪器应技术先进、性能稳定,通信网络信号应覆盖整个工程的施工作业面,网络信号稳定,带宽不受外界干扰,最好建立坝区无线网络作为备用网络,采用双网络运行。

4.2　系统运行

系统运行包括总控中心、现场分控站、机载控制箱、定位基准站、监控终端、监控结果和预警纠偏,碾压终端报警显示设施等的运行管理。

总控中心有专门的团队负责系统的运行、维护和管理,现场分控中心人员经过培训,考核合格后进行系统的运行管理。

当系统遇到信号异常或其他原因导致系统无法正常工作时,及时通知系统维护人员进行抢修,在系统未工作时必须施工的工程,进入人工监控,专人负责质量控制和过程施工参数记录。

5　数字大坝系统的使用流程

5.1　填筑碾压过程实时监控系统

碾压数字化监控主要包括以下步骤:建仓、碾压机的派遣和开仓、过程中监控、关仓。

建仓坐标由测量现场测取,在监控软件上输入坐标和仓面信息,包括仓面名称、碾压参数、错距宽度和设计铺料厚度等内容(图 3),即完成建仓操作。

图 3　仓面设置界面图

监控员接到现场质检开仓指令后,根据现场情况进行碾压机派遣(图 4)。碾压机派遣完成后,即可开仓碾压。在开仓碾压的仓面中,可以看到整个仓面碾压情况和仓面里所有碾子的碾压状态。在监控过程中,可随时调进或调出碾子并根据监控的碾压状况,指导现场碾压,保证无漏压、欠压。碾压达到相应的合格率后,经监理确认,可以进行关仓操作,生成已碾压单元的碾压过程监控成果报告。

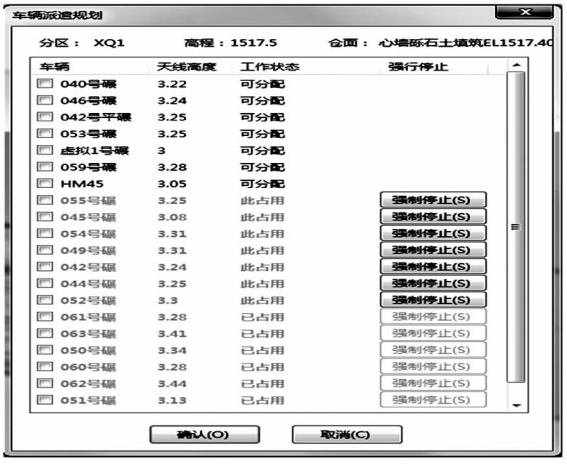

图 4　碾压机械派遣截面图

5.2　上坝运输过程实时监控系统

上坝运输监控系统主要包括规划施工单元、设置调度计划。开仓填筑后,可根据情况增加或减少调度计划中的运输车辆。

当调配计划中的运输车辆没有在正确区域装料或卸料时,系统将给监控室和已添加的值班人

发送报警信息,提醒监控人员和施工管理人员进行检查和调整。运输调度计划一旦运行,系统就进入自动的监控和记录状态,可实现运输车辆的实时查询和历史记录的查询和统计汇总。

6 数字大坝系统前期运行中存在的问题及解决措施

6.1 存在的问题

在日常使用过程中,使用强度最高的是碾压数字化监控。从平时的使用情况看,虽然很好地控制了大坝填筑碾压质量,但在实际应用中也存在一些问题,主要有如下几个方面。

(1)信号问题。由于坝区的河谷地形工作面狭窄,不利于信号传送。在监控过程中,偶尔会出现信号跳跃、信号丢失、信号延迟等问题。信号跳跃指监控碾压轨迹错位,信号丢失即监控记录的碾压轨迹有遗漏,信号延迟是指监控画面与碾压机实际碾压位置不符。

(2)断网断电。土石坝施工处于连续施工状态,其过程中会出现不确定的断网、断电现象。断网、断电以后,所有与监控相关的操作都无法进行,包括开仓、调配碾子、过程监控等,出现报警也无法通知。现场缺乏必要的应急措施。

(3)查找功能。碾压机所在仓面查找:由于全断面填筑时监控仓面较多,碾子调动频繁。进行碾压机派遣时无法看出已占用的碾子在哪个仓位,只能通过现场施工员快速查找,从而给监控员操作带来不便。

开仓状态仓面查找:在实际操作中,会同时开很多仓面进行监控,不同部位同时处于开仓碾压状态的仓面无法在软件的初始界面上同步查看。

(4)统计功能。无法自动统计汇总各种坝料碾压完成后的仓面信息,包括仓面名称、开关仓时间、合格率、碾压层厚等。从而给软件使用过程中的数据统计增加了很大的工程量。

(5)系统出现的报警信息无法在系统中进行闭合和填写处理意见,特别是碾压监控终端的报警信息采用人工传递比较麻烦,现场人员回馈反应困难,无法直接在碾压终端进行报警和显示。

(6)系统受施工区域网络运营商的影响较大,经常出现网络中断或信号不稳定,系统运行困难,无法形成完整的监控数据和成果。

(7)碾压监控系统虽然对过程进行了很好的控制,但还有些指标没有得到整体的控制,如砾石土料的碾压层厚度、堆石料碾压层厚度、碾压合格率等。

(8)系统显示碾压遍数没有达到系统要求的95%以上。但是,现场实际的碾压遍数已经超过标准的碾压遍数,存在监控与现场不完全符合的情况,存在现场超压很多后才能满足碾压标准遍数的要求。

6.2 解决措施

针对系统前期运行存在的问题,为保证大坝填筑质量,提升大坝施工形象,主要从以下方面采取了各种措施。

6.2.1 建仓

(1) 规范仓面名称。建仓时,输入的仓面名称采用统一格式,包括填筑部位、料别、高程、层数、分区,方便监控员查找仓面及以后统计、分析和识别。

(2) 控制仓面面积和搭接。当填筑仓面面积大于 15 000 m^3 时,宜分区建仓碾压。当仓面面积过大时,仓面轨迹传输速度会受影响,导致信号延迟。分区施工后,信号延迟大大减少,从而保证了监控的正常运行。

为控制同层坝料但不同仓面之间的搭接碾压质量,在提供仓面坐标时,使仓面顺水流方向重合 20 cm 以上,平行于坝轴线方向重合 1 m 以上。

(3)监控仓面需和现场填筑范围一致。监控应包含现场整体填筑范围,各种坝料间的仓面需按照要求搭接、无漏压。施工时应根据分区要求进行建仓操作,不建议局部建仓碾压,以反映坝面整体的填筑碾压情况。

(4)建仓时边界部位的处理。由于信号器的安装位置与碾轮不在同一位置,在碾压边角部位时会造成现场已碾压,但监控却无显示的情况。对此,结合现场实际情况,建仓时,把左右岸方向的边界缩小 1.5 ~ 2 m。这样实施既不影响边角部位的碾压质量,也能提高仓面碾压的合格率。

6.2.2 过程中监控

(1) 做好记录。在施工日志上做好所有开关仓记录,包括仓面名称、高程、开仓日期、关仓日期,以方便监控员查找仓面和碾子所在的仓位。在断电断网恢复后,根据记录及时进行补建仓面,并经监理工程师确认。

(2) 同时运行多个客户端。由于监控软件只能同时显示一个监控仓面,且仓面之间进行切换需要耽搁一定时间。对此,可同时打开多个监控仓面客户端分别进行监控,可提高查看和监控效率。

(3) 信号异常情况的判断及处理。每个仓面开仓碾压后,需结合现场通过监控确认碾压机信号正常。避免因异常情况未及时发现,对碾压仓面造成影响。

当出现信号跳跃或信号丢失时,及时通知总控中心并做好详细记录,包括受影响仓面的名称、仓面内碾压机编号、受影响时间段作为依据备查。信号跳跃受天气和地形影响;如果基站意外断电后来电,也会发生此现象,此时仅需把基站设备重新启动即可。信号丢失一般是由于碾压机上安装的信号传输器接口松动,对此应及时通知总控中心维修。信号延迟一般与传输数据量过大有关,因此,要控制建仓面积。

对于受信号影响而导致碾压合格率不达标的仓面,应联系监理工程师进行确认,关仓后排除受影响区域并对该部位加强试验检测进行闭合。

(4)碾压宜采用“大错距”法碾压。为便于实现监控系统碾压轨迹清晰,目前振动碾碾压采用“大错距”法碾压,即每碾压两遍错一碾轮宽,如此循环碾压到规定遍数,每一错距碾轮之间搭接 20 ~ 30 cm。

(5)目前系统增加了人机交互平台,可以实现监控人员与系统及坝面设备的交互功能,对于相关问题监理管理人员可在系统中及时填写闭合意见。在碾压机内安装了专门研制的工业控制平板电脑,实现了碾压数据的实时显示和反馈报警,碾压机操作人员可以第一时间进行报警项目的调整处理,减少了报警次数。

(6)目前坝区自建了 100 M 无线网络系统,具有无线通信功能的终端都可以通过无线网络接入数字大坝管理系统,系统可以不依赖外网独立运行。

(7)对于关键控制指标,在系统内设置了预警目标值,超过预警值后系统锁定无法进行后续的操作,分级别触发报警短息通知范围和管理领导,强化了报警的分级管理和响应级别。当主要负责人对问题已经制定了解决方案并有保证措施时,如还需进一步操作,须经过相关领导授权同意才能请系统管理员解除锁定进行操作。

(8)关于合格标准,应以碾压质量控制指标为主要约束条件,同时兼顾施工效率。长河坝水电站的碾压合格率为:心墙料超过设计碾压遍数的合格率达 95% 以上,其他坝料的合格率达 90% 以上。实践表明,以仓面内“达到规定碾压遍数的面积大于 90%,且少于规定遍数 2 遍的面积大于 95%”作为压实遍数合格标准是合理、可行的。系统经过近三年时间的运行,碾压合格率全部满足设计要求,试验检测结果良好。

7　数字大坝系统的扩展功能

7.1　坝区视频监控系统

长河坝电站大坝监视系统的大规模使用,提高了建设各方对大坝管理的介入深度,同时实现了建设各方的齐抓共管,研发出无线摄像头与大坝建设视频监控系统接口。建设各方通过视频系统,实现了对大坝建设重点部位进行视频监控和高清摄像头的云端操作控制,为建设各方提供了方便的管理手段,同时可以对关键部位施工进行摄像录像进而保留了工程建设各个环节的数字信息资料,对优化施工和优化资源配置提供了方便的手段和原始记录。坝区无线监控系统的大规模使用,大大提高了建设管理效率和管理覆盖的范围,对危险区域采用无线视频进行监控,也大大增加了施工的安全性,同时亦能对危险源提前进行预警和定点监控。

7.2　材料运输车辆监控系统

长河坝水电站建设规模庞大,材料供应商多,电站建设区域无法进行封闭管理,为了实现对主要供应材料的监控,利用坝区的无线网络,自动扫描终端设备实现对材料供应运输的自动监控,减少人为的干扰,实现管理过程的数字化和自动化。运输车辆进入地磅扫描录入车辆信息并记录货物重量、视频监控系统进行货物影像采集、卸货后通过地磅系统自动统计汇总,实现了材料运输进库管理的自动化,提高了电站建设大宗水泥、钢筋等材料的管理水平。

8　结　语

数字大坝监控系统已在梨园水电站、糯扎渡水电站、长河坝水电站得到了很好的应用。在长

(下转第 156 页)

漏电流和变压器泄漏电流,即 I1 = I2 + I3。

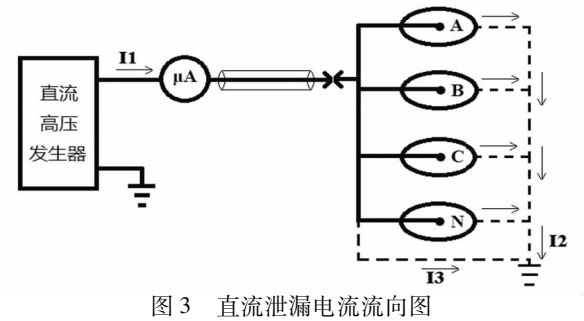

图 3　直流泄漏电流流向图

4　直流泄漏电流超标的处理

因首台主变试验工期较短,当时采取的措施是用绝缘纸包裹裸铝线进行的直流泄漏电流测试,在额定试验电压 60 kV 下,最大直流泄漏电流为 10 μA,符合交接规程要求。后续几台主变的高压侧直流泄漏电流测试全部采用的是带屏蔽的高压引线。

为确认不同的短接引线对直流泄漏电流测试结果的影响,在第 2 台主变试验时进行了对比测试。测试结果见表 1。

通过表 1 可知,裸铝线在 30 kV 电压下已开始向空气放电,导致直流泄漏电流随电压升高而急剧上升;使用带屏蔽的高压线,效果最好,能真实反映变压器的泄漏电流;将裸铝线用绝缘纸包裹后,隔断了裸铝线自身的泄漏电流,也能达到良好的测试效果。

表 1　使用不同短接引线的直流泄漏电流测试结果

直流电压/lV	测试引线			
	裸铝线/μA	普通双绞线/μA	带屏蔽的高压线/μA	用绝缘纸包裹的裸铝线
10	0	0	0	0
20	3	0	0	0
30	26	2	0	1
40	75	6	2	4
50	184	9	5	7
60	258	13	7	10

5　结　语

在进行 500 kV 变压器直流泄漏电流测试时,应优先选用带屏蔽的高压引线,消除引线泄漏电流对测试数据的影响;使用普通测试引线时,则必须采取隔离屏蔽措施,才能对测试结果进行正确判断。

作者简介:

李　毅(1977 -),男,重庆合川人,四川大学电力系统及其自动化专业本科毕业,高级工程师,就职于中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局电气试验室,从事水电机组安装调试工作.

(责任编辑:卓政昌)

(上接第 143 页)

河坝电站中其功能得到了全面的提升和完善。因为其具有全方位实时控制的特点,有效减少了坝面的漏压、欠压现象,严格控制了铺料厚度,提高了大坝整体和边角部位的填筑施工及碾压质量。

数字化大坝系统作为现代化的监控手段进入土石坝施工监控,对土石坝的施工质量管控来说是一个新方法、新手段、新技术。由于目前还没有形成规范,相关记录和过程监控结果未作为评价质量的标准,仅是对过程控制的加强,现阶段由于数字化监控和常规的试验检测同步进行,并未减少常规检测的频次,工程采用本系统后直接的经济效益并不明显,但是系统使用后,在质量、进度控制上的贡献非常突出:缩短了施工质量检查的时间,优化了碾压分区,提高了坝面平仓及碾压设备的使用效率,施工质量大幅提高后,现场返工处理大幅度减少。由于系统的全过程监控,确保了大坝填筑碾压质量,后续的大坝沉降得到了有效的控制,为后续高坝的建设提供了技术上的支撑和经验积累,对后续在覆盖层上建设高坝积累了非常重要的全过程数据。

另外,为减少断网等情况对系统正常运行造成的影响,在系统数据传输路径上应寻求多条或更可靠、更易维护的数据传输途径。例如:将目前的数据传输必须依赖 GSM 网络和宽带网络方式改为依靠现场建立的无线局域网络的形式。使用无线局域网络进行数据传输,可提高系统的运行速度和系统运行的持续性、可靠性。

随着科学技术的发展,相信数字大坝监控系统将涵盖更多范围,实现建设过程信息的全部数字化。

作者简介:

孙周辉(1980-),男,陕西宝鸡人,工程师,现从事水电工程监理工作.

(责任编辑:卓政昌)