

# 大坝安全问题分析

唐 寿 同

〔提 要〕 大坝失事的灾祸是惨重的。世界各国对大坝的安全问题均十分重视。本文首先较详细地讨论坝基、坝肩和坝体的安全，并提出控制大坝的安全几个主要监测项目。其次，阐述特殊情况下即地震、大洪水和大坝出现险情时的大坝安全。最后，列出自动化大坝安全监测的国际经验简介和对大坝安全的评估。

## 1 大坝坝肩、坝基和坝体的安全

### 1.1 岸坡稳定

大坝上下游岸坡常易遭受冲刷破坏。水库漏水的主要途径是隐藏的地下通道、断裂带、裂缝组、溶沟等。水库有无严重渗漏须看地下水位波动值、库水流失和出现新的泉眼等。塌方是造成岸坡不稳定的最普遍的形式。应判断是否有潜在的滑坡体？如有则应对它及时设置防护措施。

印度有一座高度为 128m 的 Kariba 拱坝，1959 年建成。坝址处地质构造主要有黑云母片麻岩、花岗伟晶岩脉以及出露于右岸的石英岩。右岸上部为含有云母和软弱带的节理密集的石英岩，其间有地下水环流。针对改进石英岩表层的强度特性，经过了灌浆和喷浆的补强处理；并在大坝蓄水之前，构筑四道设于地表下的大体积混凝土支墩，且在右岸加设一个重力式推力墩。右岸岸坡为古老滑坡体，这种特殊地质条件，以及在热带气候的持续风化作用下，致使 Zambezi 河在此冲刷成峻陡深削的峡谷。大坝右岸下游 200m 范围内的岸坡稳定问题已困扰多年，是历来修补措施的主要目标；其中包含在岸坡上设置排水通道、扇形排水沟、削坡、锚固以及加做坡面喷浆防渗层和敷设表层排水体系等。到 1963 年为止，在未加上述补强工程之前，以及经历大流量泄洪和几个多雨年份之后，测出的对河流方向的位移累计量达 570mm。而在经过上述加固岸坡稳定工程以后，12 年来又测出 30mm 的位移值，但有递减趋势，至 90 年代早期，约为每年 1.5mm 的位移值。右岸岸坡稳定是一直受人关注的问题，通过上述一系列补强设施以来，就显得缓和下来。看来这一加固系统是有效而可靠的，即使在岸坡徐变的作用下，未曾发现有不稳定迹象。现正投入力量着手修建新的排水网络，以增加其安全度。

### 1.2 坝基渗漏量和扬压力

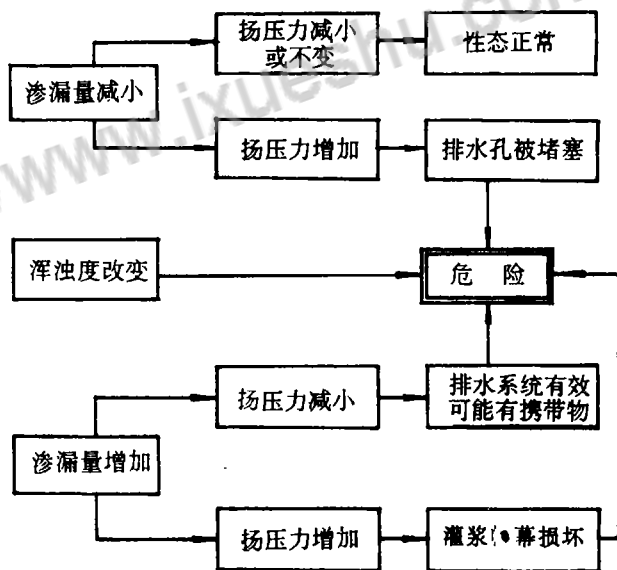
坝基渗漏量是反映基岩性态的最重要的观测物理量，坝基岩体的微小变化将明显地影响渗漏量，因而渗漏量是衡量大坝坝基安全与否的迅速、准确的信息。当发现渗漏量突然增大时，应当看一看渗水是否混浊？如有混浊现象，要查看坝基地质资料，在渗水部位的基岩中，是否含有易受冲洗的夹层？为了查明渗水点和渗水途径，应改进追踪探索工艺，发展钻孔电视和自动分析记录仪的技术。改进现行的压水试验方法，采用自由振荡透气性测试和放射线

法的新技术。通过试验定出岩基的单位吸浆率，弄清渗浆半径、灌浆压力、节理缝隙和浆液粘滞度之间的关系。运用电子仪器和声发射技术在灌浆操作中予以控制和监视，以期获得良好的防渗效果。至于有关土石坝的防渗体系，须重视新型防渗材料的设计原理，譬如说致力于橡皮、塑料膜、土工布等防渗材料的性质和上述材料在地震作用下抗裂性能的研究。

判断坝基渗漏量有无异常情况，通常按照渗漏量与库水位的关系曲线来定。正常状态下，渗漏量与库水位大体上呈直线关系。如库水位升高不多而渗漏量急剧增大时，可知发生异常情况。根据渗漏量急剧增加时的库水位，将断定此时坝基内已形成漏水通道。当观测到从单孔中出现了 100 升/分以上的渗漏量时，必须注意其发展情况。或者，虽然渗漏量不大，但流出来的是混浊水，则说明漏水通道已扩大，必须迅速采取灌浆等应急措施。日本将渗漏量的监测分为局部渗漏量和总渗漏量两种。局部渗漏量指渗漏较多的孔位或区段。总渗漏量可划分成左岸、右岸和河床段等若干个区段。当发现有异常情况时，就可以迅速地确认其位置。

同渗漏量一样，扬压力也是反映坝基工作状态的重要观测物理量。库水位和扬压力的关系曲线，通常两者呈直线关系。一旦库水位上升不多而扬压力急剧增大时，可以断定发生异常现象，必须立即采取相应的紧急措施。

通过对渗漏量和扬压力作对比分析，可以有效地诊断出坝基存在的问题。下面的框图表示分析判断过程。



上面的框图系取自《法国大坝安全监测技术》。对于渗漏量减少而扬压力增加这一现象，国际大坝委员会 41 期会刊（1982 年）《大坝安全控制的自动化观测》中说：“从排水系统中渗漏量减少的同时，如伴随以扬压力的减低，可以认为因上游帷幕区更能止水而安全情况有所改善。反之，如渗漏量减少的同时，伴随以扬压力的增加，表示排水系统阻塞，就认为是安全状况恶化了。”这同法国的经验是一致的，即出现了危险征兆。至于框图中另外指出：混浊度增加表示危险状态；渗漏量增加伴随扬压力减小，表示排水系统有效但可能有携带物而显示危险；以及渗漏量和扬压力同时增加表示灌浆帷幕损坏而显示危险。框图中这些判断均与实际状态相符，认为坝基出现重大问题，从而必须迅作补强处理。

### 1.3 坝体的变形和应力

变形比较直观地反映大坝性态,视为大坝安全监测的重点观测项目。变形是坝体和坝基性状的综合反映。变形观测包括水平位移和挠度、垂直位移、倾斜。观测数值按三种方式显示,即变形量过程线、变形量与库水位关系曲线以及蠕变变形量过程线。正常状态下的变形量,近似地与库水位呈二次函数关系。当有急剧变化时,可断定发生了异常现象。通常是根据蠕变变形速率来分析有无出现异常现象的。即蠕变变形量过程线随时间而稳定则属趋向于稳定状态。反之,如随时间而增大,且曲线上翘时,则属于异常状态。

变形监测在及早发现问题、避免失事、减轻灾害方面常能取得显著的成效。瑞士的高度为156m的Zeuzier双曲拱坝,于1957年建成蓄水,即开始观测变形量。1959年到1963年间,变形性态已接近弹性,塑性变形已趋稳定。1963年到1973年间,变形更呈弹性变化。到1978年为止已正常运行了21年。但当到达1978年秋季以后,其时水库已蓄满,从三条垂线测得的径向变形均反常地偏向上游,即确认为异常现象,经放空水库检查后,发现上游坝面出现多处裂缝。调查地震和温度资料,在这期间均无异常。唯一变化的事件,是在左坝肩1.4km以远处打了一个高程低于河谷400m但与坝基属于同一岩层内的公路勘探平洞,有大量地下水排出,因而引起大坝坝基较大的变形。1979年4月停止平洞掘进,大坝变形趋向稳定。经采用审慎的水泥浆和环氧树脂对裂缝作灌浆处理以后,该坝即恢复正常运行。

高坝坝踵和上游面的应力、应变监测是非常重要的。应力监测有时更易发现大坝异常的先兆。恒山拱坝施工期中即有多处开裂,应变计测值即有明显反应。应力监测能较早发现大坝局部范围内结构变化的部位,是评估大坝安全状态的重要参数。如果应力发生超限,说明大坝已存在某种不安全因素,必须加强分析,找出原因,以便及时采取对策。

实测数据表明,总应力里面,温度应力和混凝土湿胀应力占主要部分,水压力和自重只占小部分。纵缝灌浆产生的应力,称作施工应力,是起着重要影响的因素。大坝柱状块浇筑的先后次序是十分重要的。苏联的高度为121m的安全壤大头坝,为了研究施工应力,在离坝基面以上、靠近迎水面处,布置了三个测点并设置三向应变计组,观测平行于坝上游面的应力。其中1、3两点位于秋季浇筑的混凝土块体中,呈压应力;而2点位于夏季浇筑的块体中,呈拉应力。说明浇筑季节不同下的应力差异。

### 1.4 大坝安全分析

控制混凝土大坝安全的监测项目,葡萄牙文章中认为应包括变形、渗漏量、扬压力和应力;西班牙文章中认为对坝基评价最好的监测措施应是渗漏量和扬压力;日本文章中的监测项目认为也是渗漏量、扬压力、变形、应力等。《大坝安全控制的自动化观测》专题报告中,对混凝土大坝的监测项目,建议分为A、B、C三类,A类有渗漏量,B类有扬压力、变形,C类有应力与应变。因而世界各国对大坝安全监测项目的认识上是较为一致的。

库水位、气温、水温等是原因量;渗漏量、扬压力、变形、应力等是监测量即效应量。某一个原因量引起的后果,要在几个监测量上反映出来;而某一个监测量,将受到几个原因量的影响。因此,显示渗漏量过程线时,须同时列出库水位过程线和温度过程线,从中可以判断出渗漏量是否有异常现象?而库水位这一个原因量,则同几个效应量如渗漏量、扬压力、变形、应力等均有关系。一个监测量例如变形出现异常状态,尚须同另一个或另几个监测量如渗漏量、扬压力、应力等是否有异常联系起来,共同判断大坝安全是否出现异常甚至险情?实践中常遇到两个或两个以上的监测量相辅相成同时说明异常状态的事例。我国的梅山连拱坝

于 1962 年秋末, 在发现右岸基岩裂隙中有大量地下水渗出, 其漏水量高达 70 升/分的同时, 扬压力达到净水头的 83.8%, 而一个坝垛水平位移突然向下游和向右岸增大到 19.56mm 和 14.53mm, 同以往观测值相比, 有着明显差异, 从几个监测量同时出现异常, 确定大坝有险情, 果断地采取放空水库的紧急措施后, 查明地质上原因致此, 及时作灌浆加固, 避免一场灾难, 这是通过监测量分析保证大坝安全的成功实例。

## 2 特殊情况下的大坝安全

### 2.1 地震作用下的大坝安全

在发达国家中, 不少大坝已面临老化, 新建的大坝则为数较少。而在发展中国家中, 新建大坝的数量较多, 且应对较早年代建成的大坝的鉴定重视起来。因而目前已建成的大坝在地震作用下安全与否就成为全世界共同关注的问题。

#### 2.1.1 混凝土坝

从世界上 22 座混凝土坝统计中得出结论, 地震的震级和造成灾害之间的关系, 主要是离开震中的距离。但却有一座大坝显然不同, 即美国的 Lower Crystal Springs 重力坝。它抗御了 1906 年加州 8.3 震级和离震中仅 0.4km 的大地震。这可能由于它是很宽阔梯形断面的弧形重力坝, 原来该坝准备在以后加高的, 因而避免了这场大地震的灾害。

混凝土坝设计, 对于在地震荷载下混凝土材料强度特性常采用增大的数值。因地震荷载是瞬间作用的, 故将弹性模量增大 25%, 抗压强度增大 33%, 抗拉强度增大 50%。当验算大坝的抗滑稳定时, 为谨慎计, 对地震区域内的大坝, 坝体与坝基之间只考虑摩阻力, 不计入粘着力, 但伴以较低 (1.0~1.05) 的安全系数。地震造成的损害, 通常出现于坝顶位置; 而对坝顶上附加的结构物如防浪墙等则更甚。

印度有一座高度为 103m 的 koyna 重力坝, 1963 年建成, 1967 年遭受一次 6.5 震级、离震中 3km 的地震。测得地面加速度水平向为 0.49g、垂直向为 0.68g, 而坝体内测得加速度则为 0.37g。约在坝顶下 36m 位置, 即在坝断面变更处, 出现一条延伸很长的水平向裂缝。虽然, 库水位已到达裂缝以上 25m 高度, 但大坝仍然稳定。随后将该坝加固成为一座支墩坝。

拱坝在地震作用下经证实具有弹性抗御能力, 最为严峻的考验出现在加州坝高 113m 的 pocoima 拱坝上, 它位于离大断层仅 5km 处, 经受了 1971 年圣弗兰西斯科 6.6 震级的地震。设置在左岸山脊上接近坝顶高程处的一台自记加速度仪上, 测出加速度峰值水平向为 1.25g、垂直向为 0.7g, 但大坝本身的加速度估计为上述数值的三分之二。这次地震造成的损害计有岩块崩落、坝体微小倾斜以及左岸坝体有一条延伸到坝顶下约 14m 的裂缝, 但尚未酿成大灾祸。

伊朗的一座高度为 106m 的 Sefid Rud 支墩坝, 1990 年 6 月 21 日发生一次紧贴震中的 7.3~7.7 震级的大地震, 造成 40,000 人丧生和 100,000 座房屋毁坏的大灾难。在离大坝 40km 以外处测出的加速度水平向为 0.65g、垂直向为 0.23g。坝顶出现水平裂缝、错位和转动, 并产生向上游 10mm 的永久性位移。各支墩之间的顶部高程差异达到几厘米, 最终采用灌浆和予应力加固大坝的方案。

#### 2.1.2 土石坝

土石坝设计要考虑坝址处的构造地质和断层, 岩基上的复盖层的构成状况, 在地震作用

下是否会造成液化现象以致将恶化地基的动态性状?应注意地基在震动状态下的变化,诸如当坝顶加速度增大时地基是否保持稳定?地基的变形是否会形成沉陷、塌落和坝顶超高丧失等后果?在反复振动荷载下对筑坝材料的危害性有多大?断层活动下对心墙、反滤带完整性和排水体宽度的影响如何?以及对填筑坝体与岸坡、混凝土建筑物之间接触面有多大影响等。

## 2.2 大洪水来临时大坝安全

根据统计,土石坝失事数目的三分之一,是由于洪水漫顶所造成的,因而大洪水是大坝设计者面临的一个重大问题。有两种确定设计洪水的方法。一种是概率法,另一种是可能最大降水法或可能最大洪水法。

概率法是根据流域的流量或降雨量经统计分析得出,并按照历史文献记载,向当地老年人叩询调查以及从历代洪水到达高程的痕迹推断。设计洪水代表在正常条件下安全泄放的流量,并以坝顶超高给予安全度。在本世纪初很多国家以修建混凝土坝为主,采用概率法计算的设计洪水常能满足要求,通常从推出的洪水频率曲线以千年一遇到万年一遇的概率,按大坝的重要性来确定。

美国在本世纪初有为数较多的土石坝遭受漫顶失事,自此以后,计算洪水的方法,在1910年~1940年期间逐步演变成为可能最大降水法,嗣后为不少国家继续发展和采用。据1950年统计的土石坝数:巴西有100座、英国有330座、美国有1017座,而1986年统计的土石坝数:巴西有391座、英国有413座、美国有4694座,均采用该法。有这样一种考虑:如果大坝下游有人命丧失的危险,就应当采用可能最大降水法或可能最大洪水法来确定设计洪水,使一旦出现这种大洪水时不致危及大坝安全。

不过,随着时间的推移,这两种确定设计洪水方法的观点逐步接近起来。在采用可能最大降水法的国家中,如果在经济分析中已计入大坝下游的人命和财产危险,也即含有概率的见解。而在沿用概率法的国家中,目前存在一种用极限降水量的数据来计算的强烈趋势,也就是说对设计洪水将给予一个上限值。

有时,泄洪工程的规模是适当的,而施工期中的失事则由于泄洪方法的不当、或是由于对施工期内的洪水量估计不足所造成;也有因临时导流工程设计的不当或因闸门开启程序不当所致。

经分析表明,将坝顶超高增加到一定高度后,其所增加的费用,仅占大坝和溢洪道的总造价一个很小的比例,但对大坝的安全却是非常有利的。

## 2.3 大坝出现险情状态

当大坝出现危及其安全的严重缺陷,或环境中某些危及安全的因素正在加剧,或主要监测量出现较大异常,因而按设计条件继续运行将出现大事故的状态,发展下去即将造成对下游人命和财产危害的严重后果。例如混凝土坝体发生深部裂缝和贯穿性裂缝,坝基或坝肩出现严重渗漏,坝基软化引起滑动,坝体发现错动等恶化现象等。

若发生地震、大洪水以及大坝出现险情状态时,应加强巡视检查,并对重点部位的必要监测项目加强观测。如原监测设备受到破坏或不敷应用,可先安装简易设备进行监测,然后逐步完善,纳入长期监测系统。

### 3 大坝自动化安全监测

#### 3.1 自动化安全监测的国外经验

国外对自动化安全监测的经验是不同的,但大致可区别为如下三种主要趋向。

##### 3.1.1 已实现数据处理自动化,但尚未系统地搞数据采集自动化。兹简介法国的经验。

由现场定期人工测读绝大部分数据,通过邮寄或电话集中送至大坝附近的地区观测中心;将读数经可靠性即时检验,并按标准格式穿孔于磁带上后,用电话送往处理中心。

在处理中心,经磁带阅读机将数据输入计算机,完成上下游向位移、接缝收缩、渗漏量等效应量的计算,把计算成果存储在磁盘和磁带上。将成果作修正后输出成果表,当日邮寄到地区观测中心。

经地区观测中心检查成果后,人工绘曲线图,如发现有异常时,必要时重测。应地区观测中心的要求,处理中心利用已有的程序和存档的数据,对校正后成果建立统计模型。利用曲线图和数字回复程序,在需要时供编制综合报告之用;法国的所有大坝的业主,每年应向大坝管理局递送一次综合报告。

##### 3.1.2 在大坝现场实现大部分数据的采集自动化,并实现全部数据的处理和储存的自动化。兹简介西班牙的经验。

西班牙有一座高度为 134m 的拱坝,已实现大量的数据采集自动化。设置选择仪(扫描器)经过测定仪器电阻值的数字伏特计来选定待量测的仪器,将测出数据自动输进大坝附近的计算机内。另外有少数仪器则用人工测读,其数据是由穿孔磁带快速阅读机或电传打字机输进计算机。在计算机内有供处理数据用途的程序和仪器常数等。当需要对某组数据作专门处理时,可将这些数据通过磁带输进计算机。经处理后的数据可用曲线图或表格来显示。

##### 3.1.3 自动化安全监测系统的设计,包含数据采集由微型计算机的在线实时指挥和对数据处理和储存进行快速分析,并包含类似前述微机系统的深入离线分析。兹简介意大利的经验。

混凝土大坝自动化在线实时的安全监测系统由硬件和软件组成。利用原因量和效应量之间揭示传递功能的专门软件,建立大坝数学模型,并按大坝实际性状的以往一些经验校准之。通过固定设施包括传感器、接线器和微型计算机在线实时交互操作。用软件作在线处理,综合地进行传感器的特性反应、偏差分析和超越阈值偏差的检测,并在超越阈值偏差时作技术警报记录。对异常事件的演变趋势组成快速分析,并提出不同的干预对策。建立数据库并将全部数据存档,供以后参考和分析。对深入离线分析性能作异常性状的解释。

离线操作由通用的大坝安全信息管理计算机编码来管理,研制有效的程序如下:储存、修改和管理所有的大坝量测值;自动地完成标准图表并寄送地区管理局;初步分析年系列的量测值;利用确定性模型和统计模型预报和监测位移。

在线部分正在几座大坝上逐步实现。离线部分已常规地使用多年,作为约 50 座大坝安全复核程序之用。

计算机执行系统可以通过终端受理各用户的呼唤。借助适当口令,使所用的编码和与用户有关的储存数据的通路是受到限制的。这样既可对记存数据保密,又可防止因系统使用不当而导致损及储存数据和提供的软件。

#### 3.2 大坝安全的评估和判断

应在以往的知识和经验的范围内,对某些观测量,包括人工观测量在内,作出自动化的定量解释。在这一范围内,如对某一些观测量的解释,与参考标准值对比,或与成果的检验值对比,倘出现过大偏差时,则对是否要发送自动化报警的问题应表示出一种非常明确的限制性含义。这个问题仅仅是为了引起那些负责安全人员的注意,对这些变化值是否有出现超过正常特性的趋向。这是一种显然有用的筛选功能。它在监测量很多的情况下是必需的。然而通过筛选后的观测量,或对其异常性态曾怀疑过的所指出的观测量,仍须送交专家接受鉴定。专家则应考虑种种迹象,并结合所有其它的定量和定性信息后,对大坝安全作出评估和判断。

### 参 考 文 献

- [1] 1989, 混凝土大坝安全监测技术规范 (试行)。
- [2] 1994, 混凝土大坝安全监测技术规范研讨班教材。
- [3] 1985, 第十五届国际大坝会议技术专题综述及瑞士大坝工程考察报告。
- [4] 1988, 法国大坝安全监测技术。
- [5] 1982, Bulletin 41: Automated observation for the safety control of dams.
- [6] 1992, Water Power of dam construction, February March, June, July, September.

\*\*\*\*\*

### · 简讯 ·

#### 大坝安全定期检查工作进展情况

电力部管辖的水电站大坝,截至 1994 年底已有 62 座完成了首次定检(见附表),目前正在进行的有 16 座。1994 年 11 月,电力部在杭州主持召开了全国大坝安全定检工作会议,会上各网、省局汇报了进度,交流了经验,电力部大坝安全监察中心部署了今后的工作,要求有关网、省局和水电厂再接再厉,继续努力,力争 1995 年底,基本完成大坝安全首轮定检的任务。

附表 1 已完成首次定检的大坝统计表

时间 (年)	已 完 成 首 次 定 检 的 大 坝	座数
1988	古田溪一级、下苇甸、上犹江、新丰江、枫树坝	5
1989	陈村、南水、流溪河	3
1990	西津、石泉、刘家峡、狮子滩	4
1991	青铜峡、乌江渡、罗湾、黄坛口、太平哨、渔子溪一级、南告	7
1992	黄龙滩、沙田、毛家村、梅山、麻石、修文、珠窝、安砂、八盘峡、新安江、潭岭	11
1993	盐锅峡、葛洲坝、云峰、红岩、大洪河、池潭、百丈漈、碧口、白渔潭、长湖、龚咀	11
1994	古田二、三、四级、毛尖山、桓仁、回龙山、天桥、华安、拉浪、洛东、富春江、湖南镇、南河、百花、船场溪二级、柘林、洪门、西洱河二、三、四级、纪村	21

(电力部大坝安全监察中心 方榴声供稿)

论文降重，论文修改，论文代写加微信:18086619247或QQ:516639237

论文免费查重，论文格式一键规范，参考文献规范扫二维码：



[相关推荐：](#)

[清河水库大坝渗流及渗透稳定复核分析](#)

[丰满大坝建设、运行期存在的问题和加固治理方案选择分析](#)

[刍议水库的安全管理问题](#)

[大坝安全问题分析](#)

[古田溪三级大坝安全稳定分析](#)

[浅谈嵌入式的系统的安全问题及常用的安全技术](#)

[清河水库大坝渗流及渗透稳定复核分析](#)

[锦屏二级工程安全标准化建设认识与探讨](#)

[木瓜山水库大坝安全检测分析](#)

[高层建筑施工安全的问题分析与预控措施](#)