

堤坝工程隐患特征及探测目标分析

葛双成¹, 江 影^{1,2}, 郑敏生¹, 吕 乐², 朱晓源², 吴雄伟¹, 何耀辉¹

(1. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020; 2. 浙江省水利厅, 浙江 杭州 310009)

摘要 根据浙江省中小型水库土石坝及已建标准海塘工程的特点, 阐述整体沉降和顶面沉陷、裂缝、滑坡与深层滑动、渗漏和散浸、管涌、浸润线抬高、涵管涵洞、空洞和动物巢穴、防冲墙缺陷、岩基隐患、松散软弱夹层、水闸闸基隐患等各种质量缺陷与安全隐患特征及其探测要求。从工程需要和技术可行性综合考虑, 指出应将海塘及中小型水库土石坝的松散软弱层、横向竖裂缝、中浅部涵管涵洞、空洞和动物巢穴、浸润线抬高及水闸闸基脱空等缺陷性状探查和判释作为工程隐患探测的研究重点和攻关方向。

关键词 堤坝工程 海塘工程 工程隐患特征 工程隐患探测 工程质量检测 浙江省

中图分类号 TV698.1

文献标识码 B

文章编号 1006-7647(2008)S1-0073-04

截至 2004 年底^[1], 我国已建成各类水库 8.5 万多座, 其中小型水库近 8.2 万座, 约占水库总数的 96%。这些小型水库大多建于 20 世纪 50 ~ 70 年代, 工程建设标准低, 施工技术落后, 缺少必要的工程质量控制手段与措施, 大坝与建筑物普遍存在渗流与结构安全隐患, 加上长期以来工程运行与维护管理不当, 病险率较高, 约占总数的 40% 左右。据 1954 ~ 2003 年统计资料, 全国各类水库垮坝失事 3 484 座, 其中超过 96% 为小型水库。

1949 年中华人民共和国成立以来, 浙江省水利事业蓬勃发展, 水库建设成就辉煌。已建水库大坝的坝型涵盖了重力坝、拱坝和土石坝等大类。就坝基情况来看, 在砂砾石地基和软土地基上都取得了成功的建设经验。据 2007 年全省水库安全普查结果, 共有各类隐患的水库 1 000 余座, 其中问题严重、失事后危害性大的病险水库有 616 座。这些病险库基本修建于 20 世纪 50 ~ 70 年代。按库容统计, 大型 5 座, 中型 33 座, 小(一)型 101 座, 小(二)型 477 座 按坝型统计, 土石坝 590 座(含均质坝、黏土心墙坝), 混凝土或浆砌石坝 26 座 按存在问题统计, 渗漏安全隐患的占 70%, 坝坡过陡、坝体不稳定的占 49%, 坝内涵管隐患的占 33%, 溢洪道等泄洪设施存在问题的占 47%。

此外, 浙江省拥有约 26 万 km² 的海域, 大陆海岸线和海岛岸线长达 6 500 km, 占全国海岸线总长的

20% 左右。因此, 海塘工程是浙江特色水利工程的重要组成部分。“9711”号台风后, 浙江省委、省政府做出了“建千里海塘、保千万生灵”的重大决策, 到 2005 年底已建成 1 400 多 km 标准海塘。所建堤防特别是海塘的典型结构之一是直立墙与镇压平台结合的复式断面土石混合堤, 由于海塘工程往往建于软弱地基上, 其含水量高、压缩性大、固结时间长, 故建成后沉降仍有发生。后期建设的海塘往往又在早期堤身上, 且早期堤身可能又几经修复加固, 所以海塘工程结构本身及其运行环境都十分复杂。从日常巡查及浙东海塘安全状况调查和检测来看, 常见堤顶沉陷和裂缝、护坡底部脱空、防浪墙和闸底板混凝土开裂等现象, 以及早期施工和抢险加固留下的薄弱环节(如树枝、草包、棉絮等不利于海塘安全的物质)、排污涵管等等隐患。

水库大坝、江河堤防及海塘的坝(堤、塘)体类型众多^[2-5], 坝基条件不一, 其安全隐患的成因和类型不能概而论之。就隐患探测来说, 各种工程隐患的缺陷性质和空间分布特征是探测目标, 而堤(坝、塘)体结构和地基基础则是探测对象。因此, 水库大坝、江河堤防及海塘工程隐患探测的对象和目标是十分复杂的。大坝、堤防及海塘可能存在的隐患特征分析及探测模型研究, 是各类隐患形成的物理场特征分析及据以从实际探测资料识别判释大坝安全隐患分布范围和缺陷性状的重要基础和前提条件。

本文主要根据浙江省中小型水库土石坝及已建标准海塘工程的特点,就其常见的隐患特征及探测目标和要求进行分析研究。

1 常见工程隐患及探测要求

1.1 整体沉降和不均匀沉降

建于软土地基上的大量土石堤坝,特别是建于20世纪五六十年代的土质堤坝,坝体填筑质量差。当软土地层厚度大、纵横向土性和厚度变化较大时,如地基处理不善,再加上坝体填筑质量差,将导致较大的堤坝整体沉降和不均匀沉降,甚至坝(堤)顶局部沉陷。这种沉降直接导致坝(堤)顶高程低于设计标准,降低防洪能力,危及堤坝安全。

针对整体沉降和不均匀沉降现象,重在查明原因,无论是否有软土地基沉降的因素,都应注意堤坝体自身压缩的可能性及其原因。特别是沉陷区,应查明堤坝体内部有无局部松散软弱层存在,从而为堤坝在增高加固时应挖除的深度及局部重点处理位置提供依据。

1.2 裂缝

土石堤坝施工过程或运行期间会产生各种裂缝,使工程不能正常运行。特别是防渗体中的裂缝,可在渗流作用下引起较大变形,危及水库大坝安全,甚至造成溃坝事件。

水库大坝裂缝按其成因可分为干缩裂缝、冻融裂缝、不均匀沉降裂缝、滑坡裂缝及水力劈裂缝。按走向可分为龟状裂缝、横向裂缝、纵向裂缝及水平裂缝。按部位分,有表面裂缝和内部裂缝等。

发现裂缝后,应及时采用开挖回填、裂缝灌浆及综合方法进行加固处理。为此,需通过坝面观察、探槽(井)和物理探测,查明裂缝的部位、形状、宽度、长度、深度、错距、走向以及性质和发展情况。

海塘的裂缝成因和种类较为简单,主要是不均匀沉降引起的裂缝。

1.3 滑坡与深层滑动

产生滑坡的原因,实质上就是导致抗滑力降低的各种因素,包括大坝结构形式及防渗体和排水设施质量、填筑料颗粒组成和抗剪强度、施工中的清基和碾压质量、浸润线高度和坝体含水量、坝体裂缝、雨水渗入等等。一般出现在高水位蓄水期、水位骤降期、持续大暴雨和风浪期、解冻期及土坝施工期。

当地基中具有软弱夹层时,在一定条件下会出现深层滑动现象。当滑坡下切延伸至该软弱夹层时,滑动面不再往下深切,而沿该夹层滑动。

滑坡处理一般在稳定以后进行。但无论是滑坡的先兆期还是稳定以后,都需要通过坝面或地面观

察、物理探测结合原位观测资料和力学分析了解或掌握滑坡的原因及滑动面分布情况,以便提出防止或处理措施。

1.4 渗漏、散浸和管涌

土石坝的渗流破坏是土石坝失事或出险的主要原因之一。浙江省1100多座小型病险水库中,因各种原因导致渗漏的约占全部小型病险水库总数的50%,其中坝内涵管渗漏的106座,溢洪道导墙或底板漏水的143座,坝体、坝基渗漏的327座。

水库蓄水后,在水压力作用下,水流沿坝体土石料、坝基和坝岸两端地基中的孔隙(缝)渗向下游的现象称渗漏。土石坝渗漏一般分正常渗漏和异常渗漏。按异常渗漏的部位可分为坝体渗漏、坝基渗漏、接触渗漏和绕坝渗漏,按渗漏的现象可分为集中渗漏和散浸。所谓散浸,是指坝体渗漏出逸部位呈湿润状态,随时间延长可使土体饱和和软化,甚至在坝下游坡面、坡脚形成细小而分布较广的水流的现象。坝体渗漏和绕坝渗漏的主要原因是坝体施工质量差、坝端山包的岩石破碎或透水砂砾(卵)层以及白蚁、鼠、獾、蛇等动物打洞营巢等。接触渗漏主要是由各种原因造成的坝体与坝基、两岸山坡、涵管、闸墙接触不好造成的。坝基渗漏的原因既有地层结构探查不明,也有设计和施工时对铺盖层和垂直防渗墙的处理或处理不周、对黏土铺盖层下地基处理不彻底等等。

所谓管涌,是指坝体或坝基中土壤细颗粒被渗流带走,并逐渐发展形成渗流通道。管涌常发生在坝的下游坡或坝基面渗流逸出处。无黏性的砂土、砾石砂土、特别是粉细砂容易发生管涌。黏性土颗粒之间较大的凝聚(或称黏结力)一般不易发生管涌。

渗透破坏的探测主要靠同位素(示踪剂)法和其他有效的物理探测方法,应查明渗漏范围和管涌通道,并进行渗流流向、流速测定等。

1.5 浸润线抬高

土石坝散粒体结构的较大孔隙,使库水得以在上下游水位差的作用下经过坝体及坝基(包括两岸)向下游渗透。其在坝体内形成的自由水面称浸润面,它与横断面的交线称浸润线。浸润线以下为饱和渗流区,浸润线以上为毛细水上升区,其上则为自然含水区。渗流对土石坝将产生十分不利的影响。浸润线以下饱和区的土体受到水的浮力作用,减小了坝体的有效质量。而且饱和状态土料的抗剪强度比干燥状态有所降低,对坝坡稳定不利。当渗透坡降或渗透流速超过一定界限时,还会引起坝体或坝基土的渗透变形破坏,严重的会导致土坝失事。另

外,渗透流量过大也会影响水库的蓄水。

因此,如能采用物理方法在坝顶测量,及时掌握浸润线的位置变化情况,对防汛工作具有极大的意义。

1.6 涵管涵洞

浙江省中小型水库中,至少有 1000 余座水库的坝体中埋设了放水(取水)涵管(洞)。鉴于历史原因,这些坝下涵管(洞)以砖石、浆砌石方形为主,有的甚至用毛竹、陶瓦涵管或本质涵管,且施工质量较差。经过长期运行,大多存在不同程度的断裂及漏水等安全隐患。此外,堤身内废弃的涵管(洞)也会危及防洪安全,如浙江东苕溪西险大塘堤身内废弃的涵管曾几次造成溃坝险情。

涵洞(管)漏水主要包括洞身外壁漏水和洞身漏水。此外,涵洞(管)止水环老化破坏、涵洞(管)基础产生不均匀沉陷、施工不慎或运行时操作不当等原因,也有可能使涵洞(管)产生裂缝或断裂,造成涵洞(管)漏水。为此,应查明涵洞(管)的位置。然而,对于埋深较大而截面尺寸较小的涵洞(管),探测难度较大。

1.7 空洞和动物巢穴

在水库坝体中营造巢穴的动物主要有白蚁、鼠、獾、蛇等,其中尤以白蚁巢穴较普遍而且具有较大的危害性。

白蚁巢穴往往筑于浸润线上部,一般在水库正常运行期间未见异常,当汛期水库水位大幅度升高时,库水通过蚁道蚁路流出而带走泥土,漏水通道扩大,迅速造成塌坑或滑坡,严重者可能引发溃坝。因此,坝体蚁害具有很大的隐蔽性和突发性。

在浙江省已发现的 12 种白蚁中,对水库土坝造成危害的主要有黑翅土白蚁和黄翅大白蚁,均属白蚁科中的土栖白蚁。这两种白蚁群体数量多、结构复杂,蚁巢深入地下可达数米,蚁路四通八达,对土坝危害严重。尤其是黑翅土白蚁,群体数量多达百万,主巢直径 1~2 m,副巢 10 几个的实例屡见不鲜。1977 年,在苍南县十八孔水库曾挖出主巢深达 1.7 m、直径 55 cm、小蚁巢 20 个的黄翅大白蚁巢穴。建于 1970 年的安吉县老石坎水库,1973 年即发现白蚁危害,造成坝体漏水,查找白蚁时发现大小蚁巢 13 个,主巢直径达 1.3 m,蚁路纵横、巢巢相通,蚁害已十分严重。建于 1964 年的黄岩长潭水库,于 1996 年挖出白蚁最大主巢体积达 $1.0\text{ m} \times 0.8\text{ m} \times 0.5\text{ m}$,全坝共挖出巢穴 913 个,其中大型巢穴 13 个,体积达 6.67 m^3 (未计蚁路),有 6 条蚁路贯穿斜墙,主蚁路高达 7 cm,底宽 5 cm。

对于海塘工程,渗透和冲刷作用的结果可形成

各种空洞。

对空洞和各种动物巢穴,必须加强巡查,并查明其位置、大小及影响范围,以便及时采取封堵措施,预防灾害发生。

1.8 防渗墙缺陷

在各种防渗措施中,由于防渗墙具有造价低、施工快、防渗效果好等优点而被广泛应用于堤防海塘和水库大坝的防渗处理和除险加固中。常用的有套井回填黏土防渗墙和塑性混凝土防渗墙。对套井回填黏土防渗墙,应主要查明回填土料质量和施工压实质量,对各种不同施工工艺和材料的塑性混凝土防渗墙,应查明墙体成形,以及套接墙体间的接缝、开叉以及墙体中的架空、蜂窝、离析、局部夹泥等完整性情况。

1.9 岩基隐患

土石坝岩基隐患主要包括岩石破碎、构造节理裂隙和断层破碎带,以及软弱夹层。对灰岩坝基,还有溶洞、溶蚀缝(隙)及其贯通性。当岩溶贯通上下游时,对大坝形成极大的危害,以至于无法蓄水。

预防坝基渗漏的根本办法是正确选址,其次是做好坝基处理,一旦渗漏后患无穷。

针对岩基隐患,主要应查明岩石破碎带、构造破碎带及软弱夹层的位置、产状、规模、组成物性质等发育情况。对灰岩坝基,应查明溶洞、溶蚀缝(隙)发育情况及其贯通性。

1.10 松散软弱夹层

在土石堤坝施工时,由于坝体填筑料质量差(特别是早期的小型水库和土堤)甚至将树根、草皮填入坝内,碾压不实,以及分段分层或新加高加厚施工作业界面和次序处理不妥等原因,可造成坝体内存在各种不均匀层或异常物质层。这些不均匀层或异常物质层包括砂砾等粗粒物质层、高含砂层、淤泥软弱层以及早期施工和抢险加固留下的薄弱环节(如树枝、草包、棉絮等不利于海塘安全的物质)等等。当分段作业面处理不妥时,形成的隐患类似竖向裂缝。

查明这些松散软弱夹层的性质、分布范围和深度,对防渗加固技术的选择以及加固处理范围和深度的确定至关重要。对于前述整体沉降和不均匀沉降现象,为了分析原因,采取对策,往往需要探明松散软弱夹层。

1.11 水闸闸基隐患

水闸闸基隐患主要有 2 类:①淘蚀型隐患,包括闸基强渗流区和闸基淘空区。即在水位差作用下,带走闸基下渗流层中的细小颗粒,在水闸底板及消力池和水闸进水口位置形成闸基渗漏层及强渗流层,并将较大的颗粒也带走形成集中通道和闸基淘

(脱)空,在洪水期则形成管涌。②冲刷剥蚀类隐患,包括冲刷剥蚀型(水闸闸基面起伏不平)、塌陷破裂型(往往与闸基的脱空和表面冲刷有关)、底板松散型(闸底板混凝土浇筑层结构松散)。

水闸闸基探测的目的是识别隐患类型和位置。特别是探明水闸淘空区及闸底强渗流层的位置、范围、发育程度及规模,甚至管涌位置及通道空间展布情况、闸前的冲刷剥蚀程度。

2 堤坝隐患探测的重点研究目标分析

综观各种坝(堤)型和各类隐患的特征,从工程实际需要和隐患典型性考虑,大致可归结为堤坝体(含各种防渗墙)、堆石坝面板、闸(堤、坝)基等隐患探测与质量检测问题。

已运行中的水库大坝的防渗体缺陷都难以在坝顶探测。即使是心墙,由于墙体顶部与坝之间还有一定厚度的保护层,探测难度也很大。在施工阶段,主要是黏土防渗墙和塑性混凝土防渗墙的质量检测问题。从防渗墙的构造来看,虽然其介质(黏土、塑性混凝土等)与周围坝体介质有明显的物理性质差异,但由于它们是厚度较小的竖直二维板状体,即防渗墙检测的物理模型与各种方法所基于的理论(如半无限空间、平面波等)假设存在差距,且现场介质和环境条件的复杂性,因此,如何准确无损地检测防渗墙的厚度、连续性和密实性,至今仍处于探索阶段。在裂缝、胶结不良等缺陷性质和尺寸的准确性及定量方面,检测精度较低,故主要适用于普查检测或详测的先行手段。

在水库常蓄水位形成的浸润线以下的坝体缺陷可通过日常观察发现。该浸润线以上的坝体缺陷在平常情况下难以发现,而一旦库水位上涨又将危害大坝安全,故须采用物理探测方法查明缺陷性状。由于常蓄水位形成的浸润线深度较小(一般为5~10m),故可保证较高的探测分辨率。

堆石坝面板的主要问题是开裂和板下脱空,但是在水库运行期间面板处于水下,且表面往往有淤积层,故探测十分困难。水闸闸基的主要问题是闸基淘(脱)空,处于水下时探测很困难。

因此,从工程需要和探测技术可行性综合考虑,应将海塘和中小型水库坝体特别是常蓄水位形成的浸润线以上坝体,以及水放空时的水闸闸基淘(脱)空等隐患探测作为研究重点和攻关方向,包括松散软弱层、纵横向裂缝(水平向和竖直向的内部裂缝)、滑坡、涵管涵洞、空洞和动物巢穴、渗漏和散浸、浸润线抬高等等,水闸闸基隐患主要是闸基淘(脱)空。

3 结 论

土石堤坝因其结构简单、施工方便、投资节省、对地基变形有较大适应能力等优点而被广泛采用。早期建造的海塘及很多水库,特别是小型水库,由于选址、设计、施工和管理不当等原因,存在大坝安全问题,主要包括堤坝体沉降和(堤坝顶)沉陷、松散软弱夹层、裂缝、滑坡与深层滑动、涵管涵洞、空洞和动物巢穴、防渗墙缺陷、地基隐患、渗漏和散浸及浸润线抬高等。水闸闸基渗流将降低闸室抗滑稳定性,也可能引起闸基土壤的渗透变形,甚至造成整个水闸的破坏,它是水闸失事的主要原因。水闸闸基的主要隐患是闸基淘(脱)空。

土石堤坝工程隐患的缺陷性质和空间分布状态等特点是由堤坝体材料、筑造方式及运行工况决定的。对于隐患探测与质量检测来说,堤坝体结构及其物质组成是探测对象,缺陷性状是探测目标。因此,土石堤坝工程的隐患探测对象本身很复杂的。而隐患类型和缺陷性状的复杂多变,以及堤坝工程特别是水库运行对坝体缺陷的敏感性,又决定了探测目标识别的困难性和重要性。从工程需要、探测技术可行性及实践经验等方面综合考虑,应将海塘及中小型水库土石坝的常蓄水位形成的浸润线以上坝体缺陷性状探查和判释作为工程隐患探测的重点研究课题和攻关方向。目前的首选课题是松散软弱层、横向竖裂缝、中浅部涵管涵洞、空洞和动物巢穴,以及浸润线的探测问题。此外,应研究水闸闸基淘(脱)空探测问题。

参考文献:

- [1] 盛金保,李雷,王昭升.我国小型水库大坝安全问题探讨[J].中国水利,2006(2):41-43.
- [2] 牛运光.土坝安全与加固[M].北京:中国水利水电出版社,1998.
- [3] 林益才.水工建筑物[M].北京:中国水利水电出版社,1997.
- [4] 赵志仁,赵永,贾文利,等.关于堤坝安全检测技术的研讨[J].大坝与安全,2004(1):9-12,19.
- [5] SL274—2001.碾压式土石坝设计规范[S].

(收稿日期 2007-05-17 编辑 高建群)

