

文章编号: 1672-3031 (2003) 01-0070-05

水工混凝土建筑物的病害检测与修补技术进展

鲁一晖¹, 孙志恒¹

(1 中国水利水电科学研究院 结构材料研究所, 北京 100038)

摘要: 对近年我国水利水电工程中有关水工混凝土建筑物的病害检测、评估与修补加固方面的新材料、新技术和新工艺等进行了综合性评述。水工混凝土建筑物因受环境、水荷载及温度变化等不利影响, 建成后往往带病运行, 运行后又有一个老化过程, 因此需要精心地检测、维护和修补才能保证其安全运行。实践表明, 许多预防老化病害的措施, 在设计和施工阶段就应认真考虑并实施, 在使用阶段应对建筑物进行定期检测, 对任何损坏予以及时修补, 以确保建筑物的安全使用并延长其使用寿命。

关键词: 水工混凝土; 耐久性; 检测; 评估与修补

中图分类号: TV698.2

文献标识码: A

我国对大坝的安全评价, 分为正常坝、病坝和险坝。我国目前有水库 8.5 万多座, 由于各种原因, 其中约有 40% 存在事故隐患, 部分大坝成为病坝、险坝, 有的甚至出现溃坝、决口等安全事故^[1-3]。大坝的安全状况在其运行寿命期内处于动态变化的过程中, 为了确保大坝实现其设定的安全经济运行的目标, 必须对水工混凝土建筑物的健康状态进行实时监测与评估, 提供有效、及时的防护与修补。水工混凝土是人造材料, 从拌和制备、浇筑成型、养护到投入服役使用为抗力发育成长期, 在成长期内混凝土的各项性能应达到设计指标。在随后服役期内混凝土在环境因素(如冻融、冻胀、温度和湿度变化、水流冲磨等)、化学介质(如水质侵蚀、溶蚀、氯离子侵蚀、碳化、钢筋锈蚀、碱骨料反应等)和交变荷载(周期性荷载作用等)作用下, 其性能会逐渐发生变化, 抗力随时间而衰减, 直到不能满足安全运行要求。混凝土大坝安全运行与寿命的评价, 要搞清服役期内在环境因素、化学介质和交变荷载等多因素作用下大坝混凝土的状况, 以评价混凝土大坝的安全状况^[3]。然后, 针对存在的问题, 进行及时修补与加固, 使建筑物的安全使用期限大大延长。

近几年, 我国在水工混凝土建筑物的病害检测、评估与修补、加固方面, 做了大量的、卓有成效的工作。现将有关方面的新进展综合介绍如下。

1 病害检测与评估

水工混凝土建筑物的各种病害、缺陷, 大多始发于或显露于结构表面, 如裂缝、破损、磨蚀、渗漏、钢筋锈蚀以及结构外观变形等。有些病害的成因比较简单, 仅根据现场仔细检查病害的形态、范围和程度就可以分析清楚。实际上, 许多严重病害可以目测发现, 但目测必须系统化, 由经验丰富的技术人员进行。但有一些病害情况却很复杂, 病因也很多, 需要结合具体工程进行多方面检测试验或调查设计、施工资料, 经过综合分析后, 才能得出比较清楚的认识和恰当的评估。

对建筑物的病害做出正确评估, 一方面应重视原型观测资料的分析, 如位移、变形、渗水量、扬压力、裂缝扩展等, 主要根据它们的变化趋势来评价建筑物的安全与否, 这种方法简单易行, 但更需要有经验的专业人员和专家相结合进行现场观察检测, 以及对实测资料进行全面综合分析并做出安全评价。对建筑物的安全评价, 现在还没有统一规范, 也不可能有不变的统一标准, 所以主要还是靠有

收稿日期: 2003-04-20

作者简介: 鲁一晖(1956-), 男, 辽宁锦州人, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 水工结构与材料。

丰富经验的工程技术人员, 凭他们的实践经验, 对各种资料做出正确的解释, 并依靠从类似工程或处理类似工程得来的经验审慎地做出安全评估。

裂缝是混凝土建筑物最常见的病害之一, 可以说, 所有混凝土建筑物都有裂缝存在, 只是裂缝数量的多少及危害程度有所不同而已。裂缝大体上可分为两类: 一是施工期出现的裂缝, 主要是湿度、干缩引起的; 二是运行期出现的裂缝, 其原因比较复杂, 包括荷载、温度、地震、基础变形及化学反应等。有些裂缝仅从外观形态、工程特征及环境条件上就可找到原因。若从混凝土密实度、保护层厚度、碳化深度等方面进行检测, 将有助于深入认识并制定合理处理方案。近年来在采用面波仪、探地雷达进行缺陷检测方面有较大发展。

总之, 各种类型的病害缺陷需要有与之相应的检查诊断手段, 需要有经验的专业人员进行检测评估。大多数病害检测仍需要检测混凝土现实强度, 同时可检查内部缺陷, 如渗水路径、裂缝、孔洞、疏松夹层、混凝土与基岩接合情况等。当怀疑有碱骨料反应时, 对芯样进行膨胀试验、切面观察、含碱量测定等, 有助于综合分析和做出合理评价。

2 新材料

2.1 水泥基渗透结晶型防水材料^[4] 为解决混凝土的抗渗问题, 新发展出一种水泥基渗透结晶型防水材料, 它是由水泥、硅砂和多种特殊的活性化学物质组成的灰色粉末状无机材料。这种材料的作用机理是特有的活性化学物质利用水泥混凝土本身固有的化学特性和多孔性, 以水为载体, 借助于渗透作用, 在混凝土微孔及毛细管中传输, 再次发生水化作用, 形成不溶性的结晶体并与混凝土结合成整体。由于结晶体堵塞了微孔及毛细管孔道, 从而使混凝土致密, 达到永久性防水、防潮和保护钢筋、增强混凝土结构强度的效果。“水泥基渗透结晶型防水材料”(GB18445-2001)国家标准已于2002年起正式实施。对原材料的试验方法、试件成型、养护以及性能试验均作出了规定, 使水泥基渗透结晶型防水材料的应用趋于规范化。这一材料在水工混凝土建筑物防渗修补中逐渐得到应用, 如天生桥二级、大坳、安康、十三陵水库等工程均取得良好效果。可以预计, 水泥基渗透结晶型防水材料将在水工混凝土建筑物防渗和补强方面得到广泛应用。

2.2 聚合物水泥砂浆类材料^[4] 聚合物改性水泥砂浆作为防渗、防腐、防冻材料已在水工混凝土建筑物修补工程中得到广泛应用。水泥砂浆或混凝土加入少量胶乳材料改性后, 其抗渗性、抗碳化和抗冻性显著增强。经过近20年的工程实践, 证明这是一种性能可靠、经济、施工方便的修补材料, 目前已列入有关设计规范和施工规程, 施工速度及施工质量也大大提高。施工方法有人工涂刷、喷涂及灰浆机湿喷。聚合物胶乳品种很多, 作者推荐采用丙烯酸聚合物改性水泥砂浆, 因为它的机械性能和化学性能均优于其它乳胶。

2.3 新型灌浆材料^[4,5] 利用环氧树脂和聚氨酯在一定条件下制备出可以形成同步互穿聚合物网络结构的新型化学灌浆材料(PU/EP-IPN)。该化灌材料综合了环氧树脂浆材和聚氨酯浆材的性能优点, 水下混凝土灌浆试块的粘接抗拉强度达到1.05MPa。浆材粘度不高, 凝结时间可调, 是一种性能优良、适用性强、适合水下灌浆的多功能新型灌浆材料。具有高弹性及可在水下固化的弹性聚氨酯材料与甲凝材料相互改性, 利用交叉渗透交联工艺制备出PU/PMMA互穿聚合物网络弹性体灌浆材料, 浆液粘度不高, 可灌性良好, 可在水下固结及形成弹性体防渗。在不添加任何溶剂时该浆液初始粘度在 $280 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下, 浆液在水下与混凝土表面固结后的弹性体延伸率达150%以上时, 仍与混凝土表面粘结良好而不脱落。

3 新技术及工艺

3.1 水下修补材料及水下修补技术^[4,5] “九五”期间结合水利部科技重点攻关项目研究, 中国水利水电科学研究院及南京水利科学研究院分别研制出适于水下修补施工的嵌缝材料GBW遇水膨胀止水

条、水下快凝堵漏材料、PU/EP、IPN 水下灌浆材料、水下伸缩缝弹性灌浆材料、水下弹性快速封堵材料等。这些材料大多采用先进的高分子互穿网络技术, 根据水下修补施工的特点, 材料的固化时间可调。曾在安徽陈村水电站坝上游面水下伸缩缝修补和引滦入津隧洞水下底板裂缝修补工程中进行了现场应用试验, 效果良好。水下修补施工的机具设备亦有很大发展, 一些大坝水下工程公司具有液压泵、液压潜孔钻、液压梯形开槽机、液压打磨机等一系列先进施工设备, 已形成水下裂缝及伸缩缝修补的成套技术。

水下不分散混凝土在众多工程中得到应用, 近年来先后研制出 UWB、NNDC、NCD、CP、SCR 等多种水下不分散剂, 可以配制出适用于水工薄层修补的水下不分散混凝土, 在五强溪、葛洲坝等工程中已成功应用。随着应用领域的不断扩大, 对这种材料的需求也会不断增长。此外, 一种适于海水中施工的水下不分散混凝土材料, 已在天津海堤施工中得到应用。

《水下不分散混凝土试验规程》(DL/T5117-2000) 已颁布实施, 对原材料的试验方法、试件成型、养护以及性能试验均作出了行业规定, 使水下不分散混凝土的应用趋于规范化。

3.2 水下检测技术 随着国家对大坝安全特别是大坝水下安全的重视, 原有的采用潜水员和水下电视相结合的检测方法及水下建筑检测技术, 已经不能满足大坝水下安全管理的要求。大连赛维资讯有限公司采用水下机器人与海量图像处理技术相结合的方法, 开发了“水下观测成像多媒体软件应用系统”, 实现了水工建筑物检测和管理的路线一体化。在这套系统中, 根据大坝的结构, 对水下情况、拍摄内容等因素, 制定了拍摄规程, 主要包括拍摄的方向, 拍摄距离, 摄影机焦距, 速度, 光照等内容。采用此种规范化的管理, 减少了重复拍摄, 提高拍摄速度, 降低了成本。并且拍摄的目标信息全面、规范, 方便了后期处理。这一系列为大坝以及水工建筑物的安全和信息化管理提供了可视化的安全管理平台, 为数字化大坝的建立奠定了基础。

由于大坝的面积很大, 最终产生的全景图的数据量也很大, 同时, 每个隐患都有相应的 AVI 片断相对应, 因此系统必须支持对海量数据的管理。系统同时采用三维重建技术结合表面贴图的形式提供大坝检测结果的三维数据结构, 这使得专业人员可以更迅速快捷, 非专业人员可以更形象的检索、浏览大坝的整体风貌和检测结果。大坝水下检查的一个主要的目的是通过检测的资料获取大坝的安全状况, 因此, 必须找到大坝上的隐患情况。系统采用的是自动识别和人工识别相结合的方式, 对存在寻找隐患的指定范围内的画面进行轮廓提取, 从而形成矢量化的图形轮廓。大坝隐患的跟踪和管理是大坝检查的重点, 软件提供了对隐患进行隐患跟踪管理此项功能。目前, 这一系统已在东北电管局下属的丰满电站、云峰电站和太平哨电站的第二轮安全定检中采用, 效果良好。

3.3 混凝土裂缝注浆技术 自从环氧树脂类高分子材料被用于混凝土建筑物裂缝修补工程后, 至今它已成为仅次于钢材和水泥的第三种建筑材料被广泛应用。传统方法是靠人工控制用泵将树脂浆液注入裂缝内。由日本引入的“壁可”注浆技术, 可通过橡胶管的弹性收缩压力自动完成注浆, 缓慢均匀的灌浆压力可将缝隙中的空气压入混凝土毛细管中, 并通过混凝土的自然呼吸作用排出, 有效地避免了气阻现象, 从而保证了灌浆质量。在无人看管的情况下, 注浆管靠内部压力可以持续很长时间的自动注浆, 需要人工操作的只是用泵将浆液压入到注射管内。尽管采用低压、低速注浆, 却节省了大量人力和时间。

3.4 碳纤维补强加固新技术 碳纤维补强加固技术是利用高强度(强度可达 3500 MPa) 或高弹性模量(弹性模量 $2.35 \times 10^5 \sim 4.30 \times 10^5$ MPa) 的连续碳纤维, 单向排列成束, 用环氧树脂浸渍形成碳纤维增强复合材料片材, 将片材用专用环氧树脂胶粘贴在结构外表面受拉或有裂缝部位, 固化后与原结构形成整体, 碳纤维即可与原结构共同受力。由于碳纤维分担了部分荷载, 降低了钢筋混凝土的结构应力, 从而使结构得到补强加固。由于该材料耐久性好, 施工简便, 不增大截面, 不增加重量, 不改变外形等优点, 日渐受到国内外工程界重视。碳纤维复合材料用于混凝土结构的补强加固技术从 1997 年由日本引进, 在我国只有几年的历史, 但发展迅速。近几年主要用于钢筋混凝土建筑物的梁、板、柱等构件的补强加固。在水工混凝土建筑物补强加固方面, 已在山东和新疆的工程中采用了这项新技术。目前国内虽能少量生产碳纤维片, 但在材质均匀及预浸树脂含量等关键技术方面与国外相

比, 尚有较大差距。粘结用的环氧树脂材料, 对不同部位的使用功能和使用条件需选用不同型号, 不同的性能指标。国产树脂性能比较单一, 与国外产品相比, 差异较大, 这些都是国产材料急需解决的重要问题。

3.5 新的施工设备 高压喷涂设备是为解决环氧树脂、聚氨脂等材料的快速、大面积喷涂而研制的。根据需要喷涂一遍至数遍, 混凝土结构表面即可形成一定厚度的柔性膜层, 从而达到抗冲耐磨、封闭混凝土防渗、防碳化、保护钢筋、延长结构使用寿命的目的。相对于以往施工中采用人工称量、混合、手工涂刷工艺, 高压喷涂既节省工时, 又可以保证涂层质量, 可以说是喷涂工艺的重大进步。高压无气喷涂设备使用方便、省工省时。这一设备已在东风水电站泄洪中孔表面抗冲防护修补中应用。

4 老化病害的预防

混凝土和钢筋混凝土建筑物的寿命应大于 50 年, 可是从现实情况来看, 许多水工混凝土建筑物过早出现各种各样的缺陷和病害, 甚至尚未建成, 就出现严重工程缺陷, 或者刚投入使用, 就不得不进行修补。如果考虑到这些现实情况, 未来工程设计、施工和使用三个阶段都必须重视水工混凝土建筑物老化病害的预防措施^[6]。今后应优先考虑采用新材料、新工艺、新技术维修带病运行的建筑物, 并不断地将更新的专门技术应用于新建筑。人们对混凝土材料的认识, 已从以往片面追求高强度逐渐转变为采用高性能混凝土, 这种转变的本身就是重大的变革^[6]。近年来, 高性能混凝土技术取得了长足进步, 大量研究和工程实践表明, 科学地选择材料和配合比, 混凝土的性能改善还有巨大的潜力。由于多功能外加剂中的特殊活性物质的作用, 使混凝土的性能得到改善或提高, 这种混凝土非常耐用, 几乎完全不渗透, 而且非常耐磨蚀和抗冻融, 可减少收缩裂纹, 保护钢筋不受锈蚀。

由于规划设计阶段未能预知环境条件和使用情况的变化, 建筑物可能潜伏严重事故的隐患。这种情况在适当时间是可以认识和防止的, 即每隔一定时间, 必须对建筑物的质量进行检查。这种检查或检测在适当的时候可以探测出在严重事故将要发生以前所起的变化, 特别是准确、及时检测出反常状态。由运行管理人员和专家相结合进行现场认真观察和检测, 对测量资料全面综合分析可做出安全评估。依靠有丰富经验的工程技术人员, 凭他们的实践经验, 对观察资料作出正确的分析。对建筑物总体老化演变各阶段定量的信息分析, 发现尚处于萌芽状态中的危险, 跟踪效应量的缓慢变化或偏移, 对评价建筑物安全是十分重要的。

绝大多数水工建筑物的破坏过程都不是突然发生的, 一般都有一个缓慢的从量变到质变的过程。日常认真细致的检查, 经常的观测以及对其结果的分析, 可以发现结构的缺陷, 并确定消除缺陷的处理方案。局部细微的缺陷, 如不加以维护修补, 经历一定时间就可能发展成重大事故。建筑物上出现的缺陷, 常常预示着某些潜伏的危险, 因此, 除了及时修补之外, 还必须检查其原因并制定出消除缺陷的各种处理措施。实践表明, 健全的管理制度和操作规程, 是水工建筑物安全运行的保证。系统地记录各种检查结果、大小事故情况及其处理过程。这些资料的积累对掌握水工建筑物的实际工作状态是十分重要的。

参 考 文 献:

- [1] 张严明. 全国病险水库与水闸除险加固专业技术论文集 [C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [2] 邢林生, 等. 我国水电站大坝安全状况及修补处理综述 [J]. 大坝与安全, 2001, (1).
- [3] 林宝玉. 水工混凝土建筑物老化、病害及修补 [A]. 全国第三届大坝安全学术讨论会论文集 [C]. 南京: 河海大学出版社, 1996.
- [4] 鲁一晖, 孙志恒. 水工混凝土建筑物病害评估与修补文集 [C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [5] 鲁一晖, 林宝玉, 等. 混凝土大坝水下裂缝及伸缩缝修补技术总结报告 [R]. 中国水利水电科学研究院

院, 南京水利科学研究院, 2001 年.

[6] ICOLD. 69th ANNUAL MEETING [R]. DRESDEN, 2001.

Advances in the defect detection and repair technology for hydraulic concrete structures

LU Yi-hui¹, SUN Zh-heng¹

(1. Dept. of Structures and Materials, IWHR, Beijing 100038, China)

Abstract: This paper summarized the advances of novel materials, technology and techniques, which had been applied in the detection, evaluation and repair of the defect in hydraulic concrete structures. Hydraulic concrete structures are always affected by some environmental factors, such as water load, temperature etc. and may be in an ill-operation condition due to aging, therefore it is necessary to carefully examine, maintain and repair the structures for their safe performance. Practice indicated that some preventive measures should be considered and implemented during design and construction stages. If designers and builders had paid more attention to the aging problems, occurrence of accidents would be avoided or delayed. If examination and repair for structures could be regularly carried out, the lifespan of structures would be extended.

Key words: hydraulic concrete; durability; detection; evaluation and repair

(责任编辑: 王冰伟)

(上接第 69 页)

Structure analysis by second-order Manifold Method

ZHANG Guo-xin¹

(1. Dept. of Structures and Materials, IWHR, Beijing 100038, China)

Abstract: The Manifold Method is a newly developed numerical procedure. By a unique arrangement of numerical meshes and treatment to contact, the method is able not only to accurately analyze the structure displacement and stress distribution as can be done by applying Finite Element Method, but also to simulate the deformation of structures with many discontinuities and block movement as can be done by using Discontinuous Deformation Analysis. Based on the original first-order Manifold Method, the author developed a second-order Manifold Method together with corresponding computational code. Application examples included analysis of contact stress of a cylinder compressed between rigid plates, large deformation problem of a cantilever beam and failure of a side slope with discontinuities. The results showed that the second-order Manifold Method was capable of analyzing structure deformation, stress, contact problems and large-scale deformation problems with relatively high accuracy. It would provide also the failure process and block movement with acceptable accuracy.

Key words: manifold method; large-scale deformation; contact; failure; block movement

(责任编辑: 王冰伟)