

1009148

水工混凝土建筑物病害 评估与修补文集

鲁一晖 孙志恒 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

1009148

水工混凝土建筑物病害 评估与修补文集

鲁一晖 孙志恒 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是一本关于水工混凝土建筑物老化病害的现场检测、安全评估及其防治——防渗、堵漏、修补、加固等方面内容的综合性论文集。它是由长期从事这方面工作的众多专家、技术人员根据自己的实践经验所撰写的论文,其特点是以工程实际应用为主导,提供了许多工程修复实例,具有较高的实用价值。全书分为综述、检测技术及安全评估、修补材料及修补技术、工程修补实例及其他等五部分。

本书可供广大水利水电工程技术人员阅读,也可供高等院校、科研、设计、施工及管理单位的有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水工混凝土建筑物病害评估与修补文集/鲁一晖,孙志恒主编. —北京:中国水利水电出版社, 2001.9

ISBN 7-5084-0814-4

I. 水… II. ①鲁…②孙… III. ①混凝土-水工建筑物-老化-检测-文集②混凝土-水工建筑物-维修-文集 IV. TV698-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 064840 号

书 名	水工混凝土建筑物病害评估与修补文集
作 者	鲁一晖 孙志恒 主编
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	国土资源部河北地勘局测绘院印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 16.875 印张 390 千字
版 次	2001 年 9 月第一版 2001 年 9 月河北第一次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	48.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

《水工混凝土建筑物病害评估与修补文集》 编辑委员会

主 编 鲁一晖 孙志恒

编委会成员 刘致彬 王国秉 崔献峰

王宏江 陈昌林 冉懋鸽

前 言

水工混凝土建筑物和其他建筑物一样，建成投入运行后都有一个老化过程，甚至是带病工作。早年修建的水工混凝土建筑物，往往由于当时设计和施工水平所限，出现一些问题是难免的，即便现代兴建的建筑物，有时由于设计阶段对某些问题（如基础稳定、地震、温度等）的影响估计不足和施工质量控制不严，也会遗留下这样或那样的不安全因素。因此，除加强安全监测系统外，还要由有经验的工程技术人员定期进行现场检查，并结合对实测资料的分析，作出安全评价。经验表明，只有把监测系统与现场检查紧密结合起来，才能确保建筑物安全运行；只有把定期检查并及时对建筑物进行养护和维修，才能延长建筑物的使用寿命。

现将 1998 年 10 月第五届全国水工混凝土建筑物修补和加固技术交流会以来，在混凝土建筑物老化病害调查、现场检测、安全评估以及修补材料、修补技术等方面的部分研究成果和实际应用中所取得的宝贵经验汇编成册，全书共分五部分，即综述、检测技术及安全评估、修补材料及修补技术、工程修补实例及其他。这些论文都是理论联系实际，且具有实际工程背景和较大的应用价值。由于征稿时间比较仓促，尚有一些优秀的论文没有来得及收集，衷心希望同行专家能写成短文或简介，向《混凝土建筑物修补通讯》投稿，以便进行宣传交流，共促发展。

目前对建筑物老化和破坏机理的认识正在逐步深入，新的修补材料和修补技术亦正在研究、开发中，许多问题还有待于今后实践中不断地完善和提高。根据目前情况，现将一些有价值的论文加以推荐，可供水工、土建结构专业设计、科研、施工工程技术人员及大专院校师生参考。由于本书编审出版时间仓促及水平所限，错误缺点在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2001 年 8 月 20 日

目 录

前 言

一、综 述

水工混凝土建筑物的病害诊断与修补	鲁一晖等 (3)
我国水电站大坝安全状况及修补处理综述	邢林生等 (10)
水工混凝土建筑物修补和加固技术新进展	林宝玉 (18)

二、检 测 评 估

表面波和探地雷达混凝土质量无损检测方法及应用	孙志恒等 (29)
黄河三盛公水利枢纽现场检测及安全复核	鲁一晖等 (34)
小水电站引水发电洞渗漏部位检测	王德库等 (45)
山西省引黄入晋工程总干线 9 [#] 隧洞工程状态检测和缺陷处理	王国秉等 (48)
江西大坳面板堆石坝混凝土面板裂缝检测	吕小彬等 (53)
苏家堡水利枢纽混凝土建筑物现场检测及加固方案	刘东升等 (60)
桃峪口水库溢洪道安全检测与分析	周子昌等 (63)
黄河东平湖水库大型分泄洪闸混凝土构件老化原因分析及修补	崔学文等 (69)
实质性现象与工程诊断	周群力 (74)

三、修补材料及修补工艺

混凝土大坝水下裂缝修补技术	孙志恒等 (79)
混凝土大坝水下伸缩缝修补技术研究	林宝玉等 (85)
混凝土结构修补的新材料	赵 荣 (90)
凯顿百森防水材料在三峡工程中的试验与应用	李 焰 (94)
混凝土结构碳纤维加固技术	刘 舫等 (98)
水下混凝土建筑物的修补材料及应用	买淑芳等 (103)
环氧树脂灌浆在水利工程补强加固中的应用	裘建平 (109)
抗冲磨柔性高分子材料全封闭喷涂技术的开发和应用	李金玉等 (112)
高压无气喷涂环氧厚浆涂料在水工混凝土结构防护 处理中的应用	杨大为等 (119)
SHO—BOND 技术在桥梁加固领域的应用	董 宁等 (123)
JSP 水膨胀橡胶在水利工程中的应用	徐文君等 (126)
碾压混凝土坝防渗材料 PCCM 的研制和应用	吕联亚 (129)
永凝液防水材料抗渗性能的试验	唐山萍等 (135)

东平湖水库二级湖堤护坡加固处理	董永全等 (138)
九江江新洲崩岸治理试验工程模袋固化砂浆的研究与应用	吕小彬等 (141)
对混凝土基底粘结试验方法的探讨	吴怀国等 (146)

四、工程修补实例

丰满大坝修复加固计划及实施	陈昌林等 (153)
天生桥二级水电站Ⅲ号引水发电隧洞与调压井混凝土表面处理	冉懋鸽等 (157)
方坑水库拱坝裂缝综合治理	朱明江等 (161)
安康水电站消力池底板修补技术	孙志恒等 (167)
安康水电站表孔消力池底板加固处理	杨春风等 (170)
安康水电站表孔消力池底板的破坏及修补	刘致彬等 (175)
引滦入津隧洞工程病害处理及其施工工艺	付国群等 (181)
引滦入津隧洞顶拱回填灌浆施工方法及效果分析	方志国等 (185)
宝珠寺水电站左底孔挑流鼻坎磨损修补	贾兆武等 (188)
引黄入晋工程总干线 9"隧洞混凝土质量缺陷处理	高升平等 (190)
观音阁水库混凝土坝水平裂缝处理技术	蒋坤铎等 (196)
东风发电厂中孔检修门竖井防渗处理	滕 勇等 (201)
筏窝水库溢流坝面防渗设计	陈广符等 (204)
新洋港闸水上钢筋混凝土构件表面防护施工	韩加新等 (209)
西河闸底板接触灌浆和裂缝处理	李守辉等 (214)
小山水电站调压井混凝土防渗处理	王德库等 (218)
双牌水库非溢流坝段稳定分析及加固设计	李植槐等 (220)

五、其 他

水工混凝土耐久性研究的新进展	李金玉等 (225)
红石水电站厂房加固方案研究	路振刚等 (234)
严寒地区碾压混凝土坝越冬层面水平施工缝的开裂	杜士斌等 (238)
湖南省南县茅草街船闸的改建加固	杨国梁 (243)
石面坦坝基层状砂岩溶蚀管涌的堵漏处理	朱 敏 (246)
天广直流输电天生桥换流站工程地基的处理	潘空元等 (250)
平江县黄金堰水库大坝防渗加固设计与施工	梁卫平等 (256)
混凝土二次振捣机理及方法探讨	张 忠等 (259)
蓄水池施工的两项技术措施	张 忠等 (261)

一、综 述

水工混凝土建筑物的病害诊断与修补

鲁一晖 刘致彬*

1 对所有报告的简单评述

这次大会共收 57 个单位提供了 54 篇报告, 这些远非能概括近年来水工混凝土建筑物的病害诊断与修补方面所取得的新成就。由于种种原因, 许多好的经验没能撰写成文, 有许多专家没能来参加今天的技术交流大会, 这不能不说是一种遗憾。根据所提供的报告, 归纳起来可得到三点看法:

(1) 水工混凝土建筑物因所受水荷载及温度变化等条件的不利影响, 建成后往往带病运行, 运行后又有一个老化过程, 因此需要精心地检查、维护和修理, 才能保证其安全运行。否则, 到一定期限后就会发生严重事故。

(2) 实践经验表明, 许多预防老化病害的措施, 在规划设计和施工阶段就应认真考虑并实施。假如当年设计和施工人员对老化病害能有较深的认识并采用有效的预防措施, 则某些严重事故原本是可以避免或延缓的, 假如使用阶段对建筑物进行定期检验或检查, 并对任何损坏及时修补, 使轻微的损伤不致于进一步发展, 使剩下的风险减少到允许的程度为止。这样, 建筑物的安全使用期限将会大大延长。

(3) 围绕着建筑物病害诊断与修补这一课题, 进行了大量科研工作和工程实践, 并取得了很大的进步, 所有这些新发展, 看来是“新技术进步开发了新的应用领域, 而应用又反过来为新技术进步提供了动力”这一原则的典型例证。

2 病害检测与评估

水工混凝土建筑物各种病害、缺陷, 大多始发于或显露于结构外表面, 如裂缝、破损、磨蚀、渗漏、钢筋锈蚀以及结构外观变形等。有些病害的起因比较简单, 仅根据现场仔细检查、测绘病害的形态、范围和程度, 就可以分析清楚和作出判断。实际上, 许多严重病害, 大部分是可以目测发现的, 但目测必须系统化, 由经验丰富的技术人员进行。但有一些病害的情况却很复杂, 病因亦很多, 需要结合具体工程条件进行多方面检测、试验或调查工程的设计、施工资料, 经过综合分析后, 才能得出比较清楚的认识和做出恰当的评估。顺便指出, 对建筑物的病害作出正确评估, 一方面应重视原形观测资料的分析, 在实测数据可靠的情况下, 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, 目前多以效应量的变化趋势作为评估依据; 另一方面是离不开有经验的专业人员和专家相结合进行现场观察检查, 以及对实测资料的全面综合分析并作出安全评价。这是因为对建筑物的安全评价, 还没有达到作出

* 鲁一晖、刘致彬——中国水利水电科学研究院结构材料研究所。

规范的可能,也不可能有不变的统一标准。所以主要还是靠有丰富经验的工程技术人员,凭他们的实践经验,对各种资料作出正确的解释,并依靠从类似工程或处理类似情况得来的经验审慎地作出安全评价。

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。例如,钢筋锈蚀后的沿筋裂缝,外观上容易判别;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。

对于混凝土内部缺陷,如蜂窝、孔洞、溶蚀及混凝土疏松部位等,可采用回弹仪测强法、超声法或超声——回弹综合法、射钉法等来检测评估。近年来国内在这方面有较大发展,应用面波仪、探地雷达进行缺陷检测。探地雷达方法是一种用于确定地下介质分布的广谱电磁波技术,利用一个天线发射高频宽频带电磁波,另一个天线接收来自地下介质界面的反射波。电磁波在介质中传播时,其路径、电磁场强度与波形将随所通过介质的电性质及几何形态而变化。因此,根据接收到波的传递时间、幅度与波形资料可推断介质内部结构。这次大会会有两篇文章中报导。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,最直观、最有效的手段仍是钻芯取样,同时可检查内部缺陷,如渗水路径、裂缝、孔洞、疏松夹层、混凝土与岩石结合情况等,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,有助于综合分析和作出合理评价。

3 新材料

3.1 水泥基渗透结晶型防水材料

近年来,由于多种原因导致混凝土材料抗渗性降低的情况日趋严重,引起国内外工程界的极大关注。水泥基渗透结晶防水材料是波特兰水泥、硅沙和多种特殊的活性化学物质组成的灰色粉末状无机材料。1942年由德国化学家发明,20世纪70年代国外市场畅销,由于价格原因,直到90年代才开始进入我国市场。例如,由加拿大引进的XYPEX水泥基渗透结晶型防水材料系列产品,在上海、北京、广州等地区获得较多应用,在水工混凝土建筑物防渗修补中也逐渐得到应用,如天生桥二级、大垵、安康、十三陵水库等工程均取得良好效果。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,形成不溶性的结晶并与混凝土结合成为一整体。由于结晶体填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分为混凝土表面处理用的防水材料和内掺的混凝土本体防水剂,分别适用于混凝土表面处理防水体系和混凝土本体自防水体系。一般情况下混凝土表面处理防渗漏,按比例与水拌合成浆,可以涂刷或喷涂在混凝土表面。室外环境12个月,测量渗透深度可达30cm。涂层可用于迎水面防渗,亦可用于背水面防渗。试验表明,当表面裂缝宽度在0.3~0.5mm以内时,不必灌浆,只需用这种材料表面涂刷一层,由于活

性物质渗入再次水化作用生成晶体堵塞了裂缝,因而裂缝将逐渐自动修复。

由于以上特点,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。同类产品还有 KRYSTOLT1/T2 系统防水材料等,不再赘述。

此外,美国 Co. Ma. Seal (科密水) 防水剂已推向我国市场,它是一种含二氧化硅水基化合物、无色无味无毒的环保防水剂,具有渗透性,喷涂在混凝土表面,活性物质渗透进入混凝土并与混凝土中的氢氧化钙起反应,起到强化混凝土和防水的作用。该防水剂系列有 4 种不同型号,分别用于混凝土、砖石水泥砌体及已油漆上涂料的混凝土表面,还有一种是专门喷涂在新浇混凝土表面对混凝土进行养护。同类产品还有美国的 Ever Crete (永凝液) 防水材料,已在工程中得到应用。

3.2 聚合物水泥砂浆类材料

聚合物水泥砂浆作为防渗、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。这种以少量胶乳材料对水泥砂浆或混凝土改性后,增强其抗渗性、抗碳化和抗冻性,经过近 20 年的工程实践证明,是一种性能可靠、造价经济、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。施工方法有人工涂刷、喷涂及灰浆机湿喷,大大提高了施工速度及施工质量。推荐采用丙烯酸聚合物改性水泥砂浆,它的机械性能和化学性能均优于其他胶乳。

据报导,清江高坝洲水利枢纽 13[#]~21[#] 坝段采用碾压混凝土外包常态混凝土作为防渗结构。由于多种因素影响使层间结合部位抗渗性能下降。为此,长江科学院推荐使用 KCB 聚合物水泥砂浆防渗层,层厚 5~8mm,面积 2600m²,28 天龄期抗压强度 61.6MPa,抗折强度大于 11.7MPa,抗拉强度 7.4MPa,粘结抗拉强度 2.9~3.7MPa,极限拉伸率 336×10^{-6} ,抗渗标号 S₁₅,而且抗碳化性能和抗冻性能均优良,于 2000 年 3 月已全部施工完毕。

3.3 环氧树脂类灌浆材料

环氧树脂类灌浆液是用得最多的补强灌浆材料。其优点是粘结强度高,收缩小,固化后防水性和化学稳定性好,许多水工混凝土建筑物的裂缝都用环氧树脂浆进行补强加固。环氧树脂的品种很多,在低温条件下可用低温环氧树脂系列,在水下或潮湿部位可用润湿性好的水下环氧树脂系列,活动裂缝修补可用改性弹性环氧树脂系列。现在用的环氧树脂可以是无毒或低毒,尽量减少环境污染及危害施工人员的健康。例如,CW 系化学灌浆材料是在原环氧—糠醛—丙酮化学灌浆材料基础上,结合三峡工程长江科学院研制的。主要是由新型环氧树脂、稀释剂、表面活性剂等组成的双组份材料。选用 CD 固化剂,主要特性是在低温和水中固化,增加弹性,且气味小,毒性低。该材料已在三峡工程的断层破碎带处理、永久船闸层面缝渗水处理中应用,效果良好。

中国科学院广州化学所先后研制成功了三代高渗透性的环氧系列化学灌浆材料,应用效果以 YDS 浆材最佳,可灌性强,配浆后的适用时间长,固结后的性能好。

此外,国内进口不少优良品质的环氧树脂基灌浆材料,可用于潮湿、渗水混凝土结构裂缝修补,粘结力强、防水性能优异,粘度低,可灌入微细裂缝内。

3.4 聚氨酯(氰凝)灌浆材料

聚氨酯是一种有机高分子化合物,它的主链中含有许多重复的氨基甲酸酯基团结构,简称聚氨酯。这种材料遇水发生化学变化,生成泡沫状凝胶和 CO₂ 气体,具有很强的二次扩

散渗透能力,对渗水裂缝的处理特别合适,许多水工建筑物的裂缝曾用聚氨酯浆液灌浆处理。水溶性聚氨酯 HW 和 LW 是防水工程中普遍使用的灌浆材料,其固结体具有遇水膨胀的特性,具有较好的弹性止水,以及吸水后膨胀止水双重止水功能,尤其适用于变形缝的漏水处理。HW 型可灌性好,强度高;而 LW 型是一种弹性体,伸长率高达 200% 以上,体积膨胀 3~5 倍。当聚氨酯被灌入地下或含水的混凝土裂缝中时,迅速与水反应,形成不溶于水和不透水的凝胶体及二氧化碳气体,这样边凝固边膨胀,体积膨胀几倍,形成二次渗透扩散现象(灌浆压力形成一次渗透扩散),从而达到堵水止漏、补强加固作用。例如,五强溪大坝有 10 多条横缝止水失效,向廊道内漏水,且随水位升高日趋严重。采用聚氨酯灌浆处理后,经受高水位考验效果明显。凌津滩水电站坝体 16 条横缝漏水,采用 HW 及 LW 两种型号聚氨酯混合灌浆处理,下闸蓄水后廊道内再无渗漏。

4 新技术、新工艺

4.1 水下修补材料及水下修补技术取得较大进展

由国家电力公司资助,南京水利科学研究院及中国水利水电科学研究院分别研制出嵌缝材料 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,曾在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进行了现场应用试验,效果良好。

华东勘测设计研究院科研所研制的高分子互穿网络水下 PBM 快速封堵材料及灌浆材料,可在几分钟至几十分钟固化,强度增长快,与混凝土和金属结构粘结强度高,已在丹江口等多项工程中成功应用。此外,还研制成功粘贴 SX 防渗模块,用于水下伸缩缝修补,并在新安江进行了现场试验。

此外,水下不分散混凝土在众多工程中得到应用,近年来国内先后研制成 UWB、NNDC、NCD、CP、SCR 等多种水下不分散剂,可以配制适用于水工薄层修补的水下不分散混凝土,已在五强溪、葛洲坝等工程中获得成功应用。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,因此,DL/T5117—2000《水下不分散混凝土试验规程》于今年初已颁布实施,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。

水下修补施工已不再主要依靠潜水员体力劳动,交通部上海救助打捞局大坝水下工程公司,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。

4.2 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,至今它已经成为仅次于钢材和水泥的第三种材料被广泛应用。以往传统方法是靠人工控制将树脂浆液注入裂缝内。当环氧浆液粘度大,裂缝宽度较小时,这种修补方法并不一定十分成功。最近由日本引入一种“壁可”注浆技术,则是通过橡胶管的弹性收缩压力自动完成注浆,在注入过程中始终维持约 0.3MPa 的压力,可以将浆液注入宽度为 0.02mm 裂缝末端。同时,缓慢均匀地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。

注浆管有三种型号: BL 型有两个端头, 一端注浆, 另一端可向注浆管内不断补充浆液, 适用于较宽较深的裂缝; DD 型只有一个端头, 可供浆液进出, 其特点是不必随时补充浆液, 而是一次注满若干个注浆管后带到作业面上逐个安装, 对操作不便的部位特别适用。D—II 型专用于水下部位注浆, 采用压力约 1.0MPa。注浆管和水凝性灌浆材料, 能将缝内的存水强制排出, 实现了带水作业。例如, 吉林省松月水库混凝土坝上游面裂缝造成廊道内漏水。带水作业采用专用密封胶及浆液, 由潜水员带入水下安装后即可自动注浆, 据观察, 水面以上没有封闭的裂缝有水渗出, 表明浆液已进入裂缝并将水排出。这样大部分工作都是在陆上完成, 大大减少了潜水作业。

4.3 钢板及碳纤维补强加固新技术

混凝土结构外表面粘贴钢板补强加固技术, 始于 20 世纪 60 年代, 目前它已成为国内外适用面较广的加固技术。钢板通过粘结力强大的粘结剂与结构紧密结合为一体, 共同承担荷载, 对结构的抗拉、抗弯、抗剪等能力进行补强, 显著提高强度和韧性, 恢复承载能力, 延长使用寿命。由于钢板贴合部位的混凝土受到约束, 可控制已有裂缝的扩展, 防止新裂缝的产生。因此, 粘结剂的性能及粘贴工艺是成功与否的关键。

碳纤维补强加固技术是利用高强度或高弹性模量的连续碳纤维, 单向排列成束, 用环氧树脂浸渍形成碳纤维增强复合材料 (Carbon Fiber Reinforced Plastics 或 Polymer, 简称 CFRP) 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一整体, 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, 就降低了钢筋混凝土的结构的应力, 从而使结构得到补强加固。由于耐久性好, 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。

碳纤维片的抗拉强度可达 3500MPa, 比钢材高 7~10 倍; 弹性模量 $(2.35 \sim 4.30) \times 10^5$ MPa。由于采用了性能优良的粘结材料, 不仅树脂渗入混凝土中, 将碳纤维片材紧密粘贴在结构外表面, 而且树脂有较高的粘结强度, 能有效地传递碳纤维与混凝土之间的应力, 确保不产生界面粘结剥离现象。与其他补强加固方法一样, 碳纤维加固方法亦有其适用范围。当混凝土构件由于刚度不够, 导致变形过大而影响使用时, 粘贴碳纤维基本不会提高其刚度。此外, 碳纤维是高强度、高弹性模量材料, 采用它加固钢筋混凝土结构时, 由于碳纤维和普通钢筋的极限应变值相差好几倍, 混凝土裂缝已扩展很宽, 结构已接近破坏, 此时碳纤维的应力还很低, 因此并不能充分发挥碳纤维的强度作用。

碳纤维复合材料用于混凝土结构的补强加固在我国只有几年的历史, 但发展迅速。1997 年由日本引进该技术, 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工程中, 南京水利科学研究院在山东和新疆的两项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, 与国外产品性能相比, 差异较大, 这些都是国产材料急需解决的重要问题。

4.4 新的施工设备

在总结化学灌浆经验和工程实践的基础上,长江科学院研制出 HGB—1 (2) 型化学灌浆设备,油缸和泵体作为执行元件,液压动能作为动力源,采用分体式结构,包括自动调速稳压变量泵和密闭的储浆、送浆管路系统,可进行远距离控制。同以往化灌设备相比,有以下特点:

(1) 压力范围为 0~10MPa,排浆量为 0~20L/min,可以任意调节,使设备做到低压时大流量,高压时小流量。

(2) 根据化学浆材反应不可逆的特性,两种不同的化学浆材分别由两个独立的工作缸体吸进和排出。

(3) 混合系统采用静态液体混合器,代替以往的敞开式混合,避免了浆材气味散发,有利于环保和人身健康。

(4) 储存浆材和输出浆材采用全密封管路系统,使气味降到最小。

高压无气喷涂设备是为解决环氧树脂、聚氨酯等材料的快速、大面积喷涂而研制的。这是以压缩空气为动力,驱动高压泵,利用高压泵气缸与柱塞缸的面积差将压力放大。当高压喷涂材料通过特殊喷嘴喷出达到大气时,立刻剧烈膨胀,雾化成为具有一定冲力的微细颗粒,呈扇形喷向受喷面。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,相对于以往施工采用人工称量、混合、手工涂刷工艺,既费工耗时,涂层质量也难以保证,可以说,是喷涂工艺的重大进步。目前国产高压无气喷涂设备不少,如上海出产的 GP2A1 型,配有 W—1.0/0.7 空压机,使用方便,省工省时,比手工涂刷可提高效率 5 倍以上。

5 老化病害的预防

一般而言,随着混凝土材料技术和设计实践、施工水平的不断进步,混凝土或钢筋混凝土建筑物经过 50 年或更长的使用时间,没有必要采取特殊方法对建筑物进行补强、加固、防渗处理。可是从现实情况来看,水工混凝土建筑物却存在着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。

如果考虑到一切可以利用的经验,那么未来的建筑工程的设计、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。实践经验表明,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和把不断更新的专门技术应用于新建筑。在这个不断创新的年代里,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。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,则混凝土的性能改善还有巨大的潜力。采用优选的火山灰粒料,特别是冷凝微硅粉,其粒径仅为水泥粒径的 1/100 量级,它能够填充在水泥颗粒之间,同时能够将水泥水化产生的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 转化为凝胶,从而提高了混凝土的强度和抗渗性。同时采用超效外加剂,不仅显著减少用水量,而且还大大改善混凝土的和易性,即使在钢筋极密集的情况下,可以说近乎自流平。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，减少收缩裂纹，保护钢筋不受锈蚀。近年来对纤维加强混凝土、聚合物混凝土的研究工作，也已取得较大进展。聚合物波特兰水泥混凝土在拌和过程中加入单聚合物或聚合物后，当混凝土养护时，聚合物基体在混凝土基体内形成，从而使混凝土材料具有较高的抗渗性、耐久性和耐磨损，已用于溢洪道、消力池及容易发生冻融破坏部位。根据当前或即将达到的水平，消除混凝土材质劣化引起的各种病害，混凝土建筑物是能够耐久使用的，安全使用期是能够比现在认识的增加很多。有必要改变以往建筑物“先天不足，后天修补”的看法和做法。建议规划、设计、施工和使用等有关部门，必须采取相应的措施，正确对待建筑物老化病害的预防问题。由于篇幅所限，本文对未来建筑领域的很多工艺细节不能深入讨论。

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情况，这种情况我们在适当时间是可以认识和防止损害的，即每隔一定时间，必须对建筑物的工作质量进行检验或检查。这种检查或检测在适当的时候可以探测出建筑物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结合进行现场认真观察和检测，以及对量测资料的全面综合分析和安全评估。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；凭他们从类似工程或处理类似情况得来的经验，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。

事实上，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，不仅可以发现结构的缺陷，而且可以据以确定消除缺陷的处理方案。局部细微的缺陷，如不加以维护修理，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，除了应及时修复之外，还必须检查其原因并订出消除缺陷的各种处理措施。实践经验表明，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，否则，任何细小的疏忽和错误，都可能导致严重的破坏。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。

我国水电站大坝安全状况及 修补处理综述

邢林生 谭秀娟*

1 引言

目前我国由电力部门负责管理的水电站大坝有 130 多座,其中大多数为高坝或拥有巨大水库,总库容约 2000 亿 m^3 ,约占全国 8 万多座水库总库容的 2/5,130 多座水电站的发电装机容量约 4000 万 kW,约占全国水电总装机的 3/5。这些水电站大坝在国计民生中处于特殊重要的地位,其安全状况不仅直接影响到水电站自身发、供电效益的发挥,并与下游人民生命财产、国民经济建设乃至生态环境和社会稳定密切相关。自 1987 年开始,电力系统在国内率先实施水电站大坝定期检查(简称定检)制度,对每一座大坝的安全状况定期进行检查和评价出大坝安全等级,同时采取多种措施,对大坝进行修补处理。本文就首轮大坝定检的主要成果和修补处理情况,以及 21 世纪头 10 年的展望,作一个综合概述。

2 首轮定检揭示的主要缺陷和隐患

首轮定检通过设计复核、施工复查、运行总结和现场检查,从设计标准、坝基隐患、坝体稳定、泄洪消能以及近坝库岸滑坡方面,对大坝安全状况进行全面复核检查和综合分析评价。经过 11 年的不懈努力,至 1998 年底,共有 96 座大坝完成了检查和评价工作,摸清了 20 世纪 80 年代末以前投入运行的大坝的安全现状,其中 2 座大坝评为险坝,7 座大坝评为病坝,其余为正常坝。险、病坝的缺陷和隐患严重,正常坝也都不同程度地存在一些不安全因素。表 1 是 96 座大坝重大缺陷和隐患的分项统计,现对几个突出问题分述如下。

表 1 96 座大、中型水电站大坝重大缺陷和隐患统计表

序号	缺 陷 或 隐 患	大坝数量 (座)	比例 (%)
1	防洪标准偏低,不满足现行规范的规定,有的大坝在运行中曾发生洪水漫过坝顶事故,造成巨大损失	38	39.6
2	坝基存在重大隐患,断层、破碎带和软弱夹层(红层)未作处理或处理效果差,有的在运行中局部发生性态恶化,使大坝的抗滑稳定安全度明显降低	14	14.6
3	坝体稳定安全系数偏低,不满足现行规范的规定	5	5.2
4	结构强度不满足要求,坝基、坝体在设计荷载组合下出现超过允许值的拉、压应力	10	10.4
5	坝体裂缝破坏大坝的整体性和耐久性,有的裂缝贯穿上、下游,渗漏严重,有的裂缝规模大且所在部位重要,已影响到大坝的强度和稳定	70	72.9
6	坝基扬压力或坝体浸润线偏高,坝基或坝体渗漏量偏大,有的坝体大量析出钙质	32	33.3

* 邢林生、谭秀娟——国家电力公司大坝安全监察中心。