

国家自然科学基金项目研究报告

水闸混凝土建筑物修补加固 调查总结报告



中国水利水电科学研究院结构材料所

一九九四年八月

所 长：黄国兴

审 查 人：惠荣炎

组 长：李金玉

项目负责人：曹建国

报告编写者：曹建国 李金玉

项目参加者：曹建国 李金玉

徐文雨 陈改新

林 莉

目 录

一、前言

二、荆江分洪北闸

(一) 简介

(二) 北闸混凝土建筑物的补强及其工艺要求

(三) 加固效果分析

三、杜家台分洪闸

(一) 简介

(二) 杜家台分洪闸混凝土结构的加固修补及其工艺要求

(三) 加固修补效果和建议

四、万福闸

(一) 简介

(二) 水闸的加固修补工艺及技术要求

(三) 建筑物加固修补的运行效果

五、漳山闸

(一) 简介

(二) 漳山闸历次加固的技术措施及工艺

(三) 加固修补效果

六、结语

参考资料

一、前 言

从 80 年代初以来,我国水工混凝土建筑物的老化、病害的调查以及修补加固技术的研究与应用一直得到各级领导机关、管理部门和科研单位的重视和关注。为确保防汛安全,部委及省厅对一些重要的而老化病害较严重的工程进行了加固修补处理。湖北省的荆江分洪北闸、杜家台分洪闸、江苏省的万福闸、嶂山闸等水闸,在加固工程中除提高和确保工程的防汛能力而新增的结构措施外,还对建筑物混凝土的裂缝、碳化、钢筋锈蚀、冻融剥蚀等老化病害问题进行了全面的处理,处理中有的还采用了新材料和新工艺。

为了总结我国中小型水工混凝土建筑物老化病害现状及修补加固的实际效果,根据国家自然科学基金项目的要求,水科院结构材料所进行了有关工程的实地调查,现就湖北省荆江分洪北闸、杜家台分洪闸、江苏省万福闸、嶂山闸工程的修补加固情况调查总结如下。

本次调查,得到了水利部水管司、有关部委、省厅及工程管理部门的大力支持和积极配合,在此谨表谢意。

二、荆江分洪北闸

(一) 简介

荆江分洪北闸建成于 1952 年,位于湖北省公安县境内,全闸共 54 孔,每孔宽 19.5 米,总长约 1054 米,设计流量 $8000\text{m}^3/\text{s}$,1954 年曾分洪运行了 3 次,降低沙市水位,保证了荆江大堤的安全,1962 年为防止闸前游积,在闸上游建一拦淤堤,从此该闸为一座旱闸。

北闸,经历了 40 年的运行,闸室底板、上游阻滑板、下游护坦等混凝土建筑物的老化病害问题日趋严重,已不能满足原设计的要求,如阻滑板的裂缝将每块极分割成 4-6 块,从而降低或失去了阻滑和防渗作用,使闸室处于不稳定状态。另外,由于荆江防洪水位抬高,原工程也不能满足防洪要求。

为改善工程管理和运行条件,还需更新其它机电设备等等,1987 年,水电部批准北闸加固初步设计,加固工程于 1989 年 11 月开始,1990 年 5 月竣工。本次调查是在加固竣工后四年进行的。

(二) 北闸混凝土建筑物的补强及其工艺要求

该闸混凝土底板的裂缝是相当严重的,为恢复底板的抗渗性及闸室的稳定,混凝土底板的裂缝处理和结构加固是混凝土加固工程的主要任务。混凝土底板包括:上游阻滑板、闸室底板、下游 1#、4#混凝土护坦。另外,闸的工作桥还做了加高设计。主要的补强部位见图 1,底板补强加固采取的主要技术措施有 2 项。

4. 在原混凝土底板裂缝处理设的测缝计,四年来的观测记录表明,裂缝宽度无明显变化,可以判定裂缝至此没有进一步发展;

5. 该闸加固后,曾作过施工验收,质量合格,管理单位认为,经加固修补后的北闸,混凝土结构已处于安全运行状态;

6. 该闸原混凝土阻滑板的裂缝问题,曾在 1965-1981 年进行过多次修补,采用环氧树脂和玻璃丝布对缝面进行封堵,对裂缝沿缝面凿槽后灌注过沥青玛蹄脂及弹性聚氨脲填补裂缝,这些修补材料和修补措施,都未能很好防止渗漏和裂缝发展的作用,以上这些材料有效使用年限在 2-3 年左右。

三、杜家台分洪闸

(一) 简介

杜家台分洪闸建于 1955 年,位于湖北省仙桃市以下六公里处的汉江下游。全闸共分 30 孔,每孔净宽 12.1 米,闸总长 412 米,闸墩长 18.9 米厚 0.79 米,为钢筋混凝土开敞式水闸。

该闸经 30 多年的运行,混凝土出现了碳化、裂缝、钢筋锈蚀,闸室振动等老化病害,工作桥钢筋混凝土的锈蚀破坏和闸墩裂缝危及闸的安全,经水利部批准分洪闸于 1991 年 11 月-93 年 5 月进行了全面的加固。

(二) 杜家台分洪闸混凝土结构的加固修补及其工艺要求

分洪闸混凝土结构的加固修补部位包括原工作桥排架及大梁;闸墩及公路桥等。见图 2, 由于工作桥排架及大梁最大碳化深度已超过钢筋保护层(50mm),混凝土内钢筋锈蚀严重,表面出现裂缝和局部崩落,工作桥的病害已危及安全运行,因此有关部门决定,工作桥混凝土结构全部拆除,重新建一新的工作桥。

新建工作桥的混凝土设计标号为 200 号,排架与闸墩结合部用锚筋相连接,现场浇筑混凝土抽样统计分析表明:混凝土平均抗压强度 $R_{28} = 24.0\text{MPa}$,强度保证率 $P = 91.0\%$, 均方差 $\sigma = 3.91\text{MPa}$, 离差系数 $C_v = 0.133$ 。从表面观察施工质量是良好的。

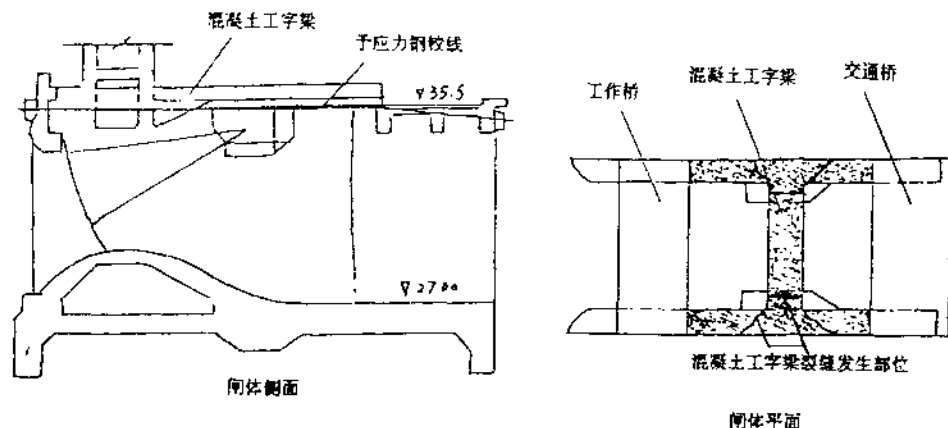


图 2. 杜家台分洪闸闸体加固部位示意图

在拆除原工作桥采用了无声破碎技术,保证了现场施工人员的安全,并提高了工作效率。

公路桥的加固是在原有的公路面上浇筑 8cm 厚的钢筋混凝土,设计标号为 300 号,原桥栏杆也进行了修复和粉饰。

闸墩的裂缝处理是加固工程的主要工作之一,据调查,闸墩共有裂缝 651 条,多为垂直裂缝,裂缝多发生在公路桥上游处,以及牛腿以下的闸墩面上;有的裂缝已从顶裂至闸室底板,形成贯穿性裂缝,缝产生的主要原因是:

1. 上游淤泥过多,使地基产生不均匀沉降,使闸墩顶部受拉。
2. 当闸门部分开启时,闸室振动的影响。
3. 公路桥与闸墩固接,桥的热胀冷缩,使闸墩受弯、受剪荷载作用。
4. 公路桥车辆吨位和车流量超载,作用在闸墩上的竖向力过于集中而产生劈裂作用。

5. 温度变化的影响。

闸墩加固采取的主要技术措施:

1. 闸墩的预应力锚固

每个闸墩在顶部从上游面至下游面打一直径为 60mm 的孔,穿入钢绞线,采用后张法对闸墩施加预应力。钢绞线 7 根为一束,张拉时对每一根钢绞线预拉 2.26 吨,然后分二级整束张拉,第一级为 16-60 吨,第二级 60-95 吨,19 号-27 号孔第二级拉力控制在 90-102.9 吨。加荷完成后保持 5 分钟,最后锁锚、卸荷、灌注砂浆封孔。

2. 闸墩的结构性加固

闸墩加高并在两墩之间加一混凝土支撑梁,支撑梁两端与闸墩加高部份浇注在一起,形成 H 型框架结构,闸墩加高部分又与原闸墩用锚杆相联,采取此技术措施,旨在加强闸室的整体性,减少闸门开启时闸室振动问题,以及防止闸墩裂缝的继续发展;支撑梁及闸墩加高部分的混凝土设计标号为 200#。

3. 闸墩裂缝的修补

采取沿缝凿出 4-5 厘米的 U 型槽,用 525# 普硅水泥拌制预缩砂浆回填槽内,以此对裂缝进行封闭处理。

闸墩分缝处的止水材料由于老化也进行了修复,修复材料使用沥青浸渍麻绳充填分缝内,从表面观察这些麻绳浸渍不充分。

(三) 加固修补效果和建议

1. 新建混凝土工作桥(排架及大梁)混凝土施工质量良好,现未发现裂缝及其它病害特征,旧工作桥在拆除过程中,采用了无声破碎技术节省了施工费用,保证了施工安全。

2. 闸墩裂缝施加预应力锚束后,未发现裂缝继续扩展迹象(肉眼观测),预应力锚固技术运用在闸墩加固工程上是成功的,预缩砂浆封堵闸墩的表面裂缝也未见有脱离现象。

3. 支承梁与闸墩加高处的混凝土顶部出现了裂缝,梁顶部一般有一至二条

裂缝,呈自上而下发展的趋势,闸墩加高部位的混凝土裂缝成 45° 角扩展并至支撑梁,裂缝示意图如图2。其原因,可能是梁内应力作用和混凝土干缩所致,今后当进一步观察分析裂缝产生的原因,裂缝已在今年3-4月间用环氧树脂封闭。

4. 分洪闸附近有一磷肥厂,每天排放出大量酸性气体,工厂周围有些树木已受污染,酸性气体对混凝土有腐蚀作用,十分有害,建议将水闸的混凝土表面进行防护处理。

杜家台分洪闸自91年11月至94年6月没有进行分洪,本调研工作是在加固完成后一年时进行的,加固效果还有待今后进一步考证。

四、万福闸

(一) 简述

万福闸位于江苏省扬州市东郊,在归江三坝的汇合处,是淮河排水入江的主要水利控制工程,该闸全长466.8米,共65孔,每孔净宽6米,设计流量 $7460\text{m}^3/\text{s}$,校核流量 $88203/\text{s}$,该闸枢纽布置见图3。

该闸建于59-60年,运行一后年就发现混凝土路面严重磨损,闸墩水位变化区混凝土表面出现剥落。1983年闸管所对闸室水上部位普查时,发现公路桥大梁局部有顺筋裂缝,工作桥、便桥,闸墩混凝土的碳化层深度平均为40毫米;1985年安全检查时又发现公路桥、工作桥大梁已产生多处顺筋锈胀裂缝,主筋锈蚀率达10%。

由于万福闸建于大跃进年代,混凝土的施工质量差,随着时间的推移,闸的混凝土老化病害现象日趋严重。另外该地区建筑物的抗震设计标准经地震部门审核,由原来的6度提高到7度,为此水闸的混凝土加固和修补工作势在必行。

(二) 水闸的加固修补工艺及技术要求

万福闸的加固修补工程开始于1986年,1993年全面竣工,历时近7年时间;主要的加固部位是:闸墩、工作桥排架及大梁、闸室底板和上下游护坦;并在原公路桥处重建一新桥。

1. 闸墩的加固与修补

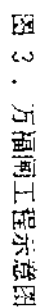
闸墩的加固包括:墩头部位接长,闸墩表面碳化层的清除和修复,以及工作桥面加宽。

墩头接长部分的混凝土设计标号为200#,抗冻标号为D100;个闸墩分39次浇筑,新老混凝土结合面的处理,要求将老混凝土凿到碳化层或剥蚀深度以下,约10厘米左右。结合面用锚筋联结;混凝土的浇筑作业是在水下进行的,采用了钢围堰挡水施工设备。

在闸室内上、下游闸墩混凝土表面凿除碳化层并清洗后,采用喷混凝土修复,喷混凝土的设计标号为250#,每次喷完后将表面铲修平整并用水泥砂浆罩面。

2. 工作桥排架的加固与修补

工作桥加固设计抗震烈度为7度,按加固设计要求在原排架内还需增加竖



向钢筋。施工时首先凿除四面的混凝土层,厚度在 10-13 厘米;然后锚固增加的竖向钢筋,最后采用喷混凝土修复,一次喷射厚度 10-13 厘米,每次喷排架的一个侧面,待该面的混凝土达到一定强度后再对另一个侧面进行喷涂。每个排架要喷 4 次,每次喷射完成后,将喷混凝土表面铲平修齐后用水泥砂浆抹面,最后进行养护。

喷混凝土的设计标号为 200#,经抽样检验(大板喷混凝土试件),平均抗压强度 25.3MPa、均方差 $\sigma=4.18\text{MPa}$ 、离差系数 $C_v=0.165$ 。

工作桥大梁的裂缝修补,采用了湿喷补偿收缩水泥砂浆技术。对于梁的宽度大于 0.3 毫米的裂缝,按缝的发展方向分段凿除表面混凝土,将钢筋除锈并清洗,然后分两次喷射砂浆,第一次喷射 2.5 厘米厚,待 4-6 小时后,第二次喷射至原混凝土表面,然后人工抹平,喷射 2 小时后用抹刀光面。6 小时后喷水养护,七天后洒水养护到 28 天。

工作桥大梁表面小于 0.3mm 的裂缝以及梁底部,喷涂聚氨醚涂料。喷涂前清洗混凝土表面,干燥后分四遍进行喷涂,涂料颜色与混凝土相同。

3. 闸室加固、上下游护坦及消力池的修补

闸室的加固包括更换老的水泥钢丝网闸门为混凝土闸门;在闸底板重新浇筑混凝土闸门止水坎,增设支承钢板等等。

自 86 年底至 93 年上游混凝土护坦共修补 23 处,下游护坦修补 254 处,修补工作主要是冲刷、磨损的混凝土面;修补材料有 810 水下环氧砂浆、丙乳砂浆、普通混凝土、Na 双快水泥细石混凝土等。

护坦的修补工作是在水下进行的,施工时采用高压沉箱设备,修复部位的修补材料在沉箱内养护至少 4.5 小时后(一般都养护一天),沉箱移至下一个修补部位。

(三) 建筑物加固修补后的运行效果

1. 闸墩头接长部的混凝土,由于掺用了引气剂,最早加长的混凝土墩头已运行 7 年时间,现未发现冻融破坏和冲蚀破坏情况。

2. 工作桥排架及闸墩采用喷混凝土修补面积达 5000 平方米,体积 462 立方米,这在国内钢筋混凝土结构修补中尚属少见。经现场拉拔试验和钻孔取样试验表明,新老混凝土粘接良好,拉断面都在老混凝土上,喷混凝土的抗压强度达 25MPa 以上。但是如何保证两次喷混凝土的层间结合和修补厚度的均匀性问题仍是喷混凝土技术用于钢筋混凝土结构修复施工中需进一步改进提高的问题。本次调查中发现喷混凝土表面后抹的水泥砂浆层,目前已出现有龟裂现象,局部裂缝还有白色物质渗出,这可能与养护条件不充分有关。个别排架处存在喷层过厚使闸孔净距减少而影响闸门的启闭的情况。

3. 以水溶性聚氨醚作为工作桥大梁混凝土防碳化保护层,经四年后观察发现,保护层已无光泽,表面出现粉化现象,颜色也由原来的浅灰色变为淡黄色。有可能此种材料已呈老化状态。

4. 上下游护坦的修补处,经有关部门检查均未发现有脱落,冲蚀破坏,四种修补材料效果良好。

5. 采用湿喷补偿收缩水泥砂浆技术修补工作桥大梁的细小裂缝,经现场试验表明,砂浆的抗压、粘接、拉拔强度等指标都达到或超过设计标准,涂层表面平整,满足加固修补的技术要求。

五、 漳山闸

(一) 简述

漳山闸位于江苏省宿迁市,漳山集以西 11 公里处,是骆马湖主要排洪控制工程。设计流量为 $8000\text{m}^3/\text{s}$;闸长 428.97 米,共 36 孔,每孔净宽 10 米,上设胸墙挡水,建于 1959-1961 年。

由于该闸始建于大跃进年代,工程在设计和施工上都存在许多问题,如主要部位混凝土设计标号偏低;每立方米混凝土的水泥用量偏少;粗骨料粒径过大等,导致混凝土的密实性、均匀性和耐久性都很差。工作桥、公路桥的混凝土结构产生裂缝,底板开裂渗水,闸墩混凝土表面严重剥蚀。水闸混凝土的碳化,钢筋锈蚀发展较快,混凝土钢丝网闸门锈蚀开裂等。混凝土的病害老化问题日趋严重。虽然经过几次局部的修补,都未能根本解决混凝土结构的安全运行。

为恢复和提高该闸的设计能力,满足按 9 度地震裂度的设防要求,经水利部批准,从 91 年起对水闸进行较全面的加固补强。

(二) 漳山闸历次加固的技术措施及工艺

1. 1963 年的加固修补工程主要部位有:闸底板,上下游护坦,消力池底板和闸墩上游面水位变化区,公路桥大梁和桥面。采取的技术措施包括以下几方面。

(1) 对闸底板、上下游护坦、消力池底板的孔洞的及不密实的部位,进行水泥灌浆处理,目的在于提高结构的强度,防止渗漏。另外,对于裂缝的处理,采取封堵的方法。将裂缝开凿成 V 型槽后,回填环氧砂浆或普通水泥预缩砂浆。

(2) 闸墩上游水位变化区的冻融剥蚀面,采取喷水泥砂浆修复技术,砂浆的设计标号为 200 号。

(3) 上游护坦表面重新浇筑一层 15 厘米厚的钢筋混凝土层,进行结构加固。

(4) 公路桥面的磨损层清除后再重新浇筑抗磨面层,公路桥的大梁裂缝及剥落疏松的部位,先进行凿除,然后采用喷混凝土(砂浆)修复。

2. 1979 年-1981 年,该闸进行了抗震加固和混凝土的修补工程有:

(1) 在公路桥加混凝土支承梁;工作桥排架间加钢桁架。以此高闸体的抗震性能。

(2) 工作桥、公路桥大梁进行裂缝处理,并涂抹环氧树脂材料,约 2 毫米厚,对大梁混凝土进行封闭,防止混凝土的碳化发展以及钢筋的进一步锈蚀。

3. 91 年开始的加固修复工程

现在该闸正在进行的加固修补工程是建闸以来最全面的一次,主要解决三方面问题。

(1) 使结构能抵御 9 度地震烈度的能力。

(2) 混凝土结构物表面碳化层的清除及锈蚀钢筋的修复;恢复结构承载能力,提高防老化耐久性。

(3) 更换原混凝土钢丝网闸门为钢闸门

混凝土结构的加固的主要内容有:

(1) 胸墙全部拆除后重新浇筑,设计上改变了原胸墙的简支梁结构型式,取代为连续梁的结构型式,以此增加闸室的抗震性能。

(2) 工作桥排架间增加混凝土肋,下游闸墩处新增加支撑梁,也是提高排架和闸墩的抗震性能。

(3) 闸墩及工作桥排架的混凝土碳化层及冻融剥蚀层的凿除,并湿喷水泥砂浆进行修复。

(三) 公路桥的改建,混凝土闸门的更换等项工程。

目前该闸的加固工程正在进行。水闸加固部位见图 4。

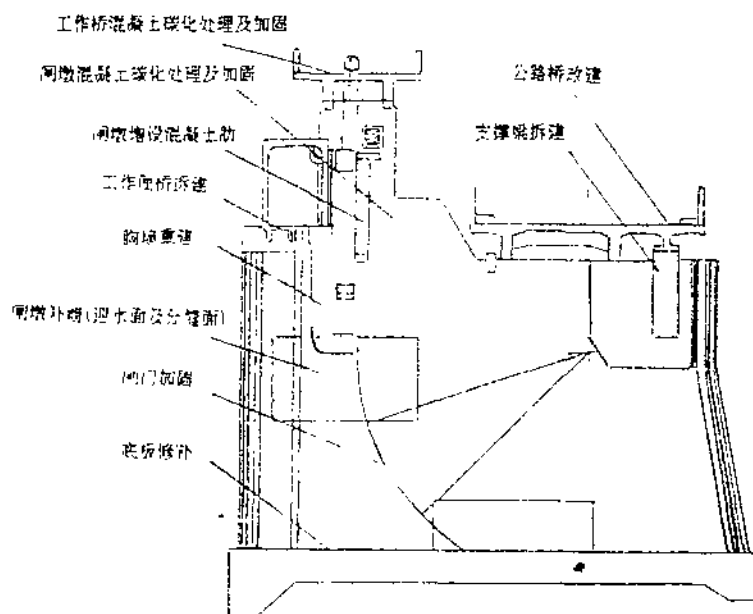


图 4. 埭山闸工程加固部位示意图

4. 加固修补效果

埭山闸自建闸以来,历经几次局部的修补加固,其效果可归纳以下几点。

1. 混凝土底板(包括下游护坦及消力池底板)的灌浆处理是成功的,到目前未发现该闸有渗漏迹象。孔洞的封堵层和裂缝的修补层,经有关部门检查,认为大部分部位不需再进行处理。

2. 63 年闸墩冻融剥蚀表面的喷砂浆修补层,经 20 年运行后发现喷层有局部脱落现象,同时发现喷层的厚度偏薄,一般在 1.5-20 厘米,并且喷浆层的厚度不均匀。但大部分喷浆层还有一定的粘接强度。

3. 79-80 年在公路桥、工作桥大梁等部位涂抹的环氧树脂砂浆和涂层,五年后检查时发现有色变,脱空和脱落现象,说明该材料在这些部位使用时耐久性能

有待进一步提高。

这次该闸进行的加固工程,总结了历次加固修补的经验,在施工质量和材料选择上做了细致认真的工作,效果如何有待进一步考证。

六、结语

通过以上四座大型水闸修补加固情况的调查,在混凝土老化病害的修补技术上可总结出如下的经验教训

1. 喷混凝土(包括干喷、湿喷以及喷砂浆)技术,应用于水工混凝土结构的修补加固具有施工简单,不需大量模板,既适于大面积作业也适合梁板柱的施工修补,新老混凝土粘接强度高耐久性好等特点,是一种值得推广的混凝土修补技术。但在施工中要注意以下三点:

(1) 老混凝土面的凿毛清洗要完全彻底,不能有松动的粗骨料和砂土灰尘。

(2) 施工人员应具有熟练的操作技术,充分重视喷层间的结合及喷层厚度和表面平整度。

(3) 喷混凝土的养护措施必须完备、严格。

2. 高分子有机材料在水工混凝土工程中修补的效果问题,一直为人们关注,通过本次调查,这类材料暴露在大气中使用,一般 5-7 年后发现有脱落、粉化、失去弹性等老化现象,如荆江分洪闸底板裂缝的修补,万福闸工作桥、漳山闸工作桥公路桥的大梁混凝土表面的修补防护都有此类问题,而在水下使用则使用效果好的多,使用 10 年以上未发现问题。

3. 实践证明,新老混凝土粘结质量好坏,将直接影响其修补效果。针对建筑物不同的破坏原因,可以采用不同的修补技术和材料,只要修补面处理得当,养护措施严格,可以得到比较满意的修补效果。上述的几个水闸采用了预缩砂浆,硅粉混凝土,双快水泥混凝土等,效果较好。而且如在新老混凝土间再采用机械锚固(锚杆锚固)则将会取得更良好的效果。

4. 预应力锚固技术,在中小型水工建筑物的修补加固工程中的应用并不多,但实践证明该技术是一种较为可靠的结构性加固措施,可以在更多的工程中加以推广应用。

本调查有不当之处,请予批评指正。另外在本次调查中还发现机电设备、维修经费,人事关系等问题,将另汇报有关单位。

参考资料

1. 李金玉等,湖北省荆江分洪工程混凝土建筑物耐久性及其病害调查,水电部水工混凝土建筑物耐久性及其病害处理联合调查组,1985.12.

2. 朱恩洪江洪,荆江分洪北闸混凝土建筑物加固设计和施工工艺,第二届水工混凝土建筑物修补技术交流会论文集,1991.4.5.

3. 李金玉等,杜家台汉江分洪闸混凝土建筑物耐久性及其病害调查。报告,

水电部水工混凝土建筑物耐久性病害处理联合调查组,1985.11.

4. 刘绍芝邓银平等,杜家台分洪闸闸墩病害原因的调查分析及处理措施研究,第二届水工混凝土建筑物修补技术交流论文集,1991.4.5.

5. 杜家台分洪闸混凝土加固工程总结,内部资料,1992.

6. 许冠绍,江苏省闸涵混凝土的耐久性问题 and 近期对策江苏省水利科学研究所,1987.10.

7. 陈树芝,江苏省水工混凝土结构用喷射砂浆修补的效果分析,江苏省水利科学研究所,1987.9.

8. 万福闸混凝土加固工程总结,内部资料

9. 水电部淮委沂沭泗管理局,沂沭泗统管工程水闸老化初步调查报告,内部资料,1987.