

大寺节制闸混凝土结构的检测与分析

朱雅仙 朱锡昶 李 岩 葛 燕

(南京水利科学研究院材料结构研究所,江苏 南京 210029)

摘要 大寺节制闸已运行 26 年,出现了老化病害现象。为了解其老化病害的程度和原因,按照规范要求对该水闸混凝土结构进行外观质量和耐久性检测分析。结果表明,水闸的水上(大气中)混凝土结构外观破损十分明显,露石露砂、顺筋裂缝、钢筋锈蚀、混凝土破损剥落等已十分严重;引起破坏的主要原因是混凝土施工质量较差,局部保护层厚度不足,混凝土保护层碳化引起钢筋锈蚀膨胀,而水流冲刷磨蚀是水闸过流结构破坏的主要形式。

关键词 水闸;混凝土结构;混凝土碳化;钢筋锈蚀;水工建筑物检测;大寺节制闸

中图分类号 :TV66 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2007)03-0038-04

Inspection and analysis of concrete structures for Dasi sluice//ZHU Ya-xian, ZHU Xi-chang, LI Yan, GE Yar(*Materials and Structural Engineering Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

Abstract : A sluice on the Guohe River in Anhui Province has been seriously damaged after 26 year operation. To investigate the degree of aging and causes of the damages, an inspection and analysis was made on the apparent quality and durability of the concrete structures according to the relevant criteria. The results show that the damages to the appearance of concrete structures exposed to atmosphere, including honeycombing, cracking along rebar, rebar corrosion, and concrete delamination, are quite serious, that the poor quality of concrete construction, the insufficient thickness of local concrete cover, and the rebar corrosion expansion and dilatancy induced by carbonization of concrete cover are the main causes, and that the main form of damages to the overflow structure is the abrasion resulted from water scouring.

Key words : sluice; concrete structure; carbonization of concrete; rebar corrosion; inspection of hydraulic structure; Dasi sluice

水工混凝土中的钢筋锈蚀是影响钢筋混凝土结构耐久性的一个重要问题,也是水工建筑物安全鉴定过程中经常遇到的问题。多年来,许多水利工程由于耐久性不良而引起的工程损坏事例不断发生,由此造成巨大的经济损失。在实际工程中,常见大坝、水闸、桥梁等钢筋混凝土结构因钢筋锈蚀而引起混凝土膨胀开裂和混凝土保护层脱落,致使结构承载力下降甚至危及水工建筑物安全,因此,必须引起高度重视^[1]。

位于安徽省亳州市境内涡河上的大寺节制闸于 1978 年 5 月竣工并投入运行。该节制闸属大(2)型水工建筑物,其主要功能是蓄水、泄洪及综合利用。全闸共 20 孔,其中中间 18 孔,每孔净宽 4.7 m,2 个边孔每孔净宽 4.6 m,闸室连同闸墩总宽 112.8 m,闸身总长 184 m。全闸装有一机两门联动启闭的手摇电动两用 Q-P-Q50 型卷扬式闸门启闭机 20 台。经过 26 年的运行,该节制闸混凝土结构老化、碳化、破损严重。笔者按照相关规范,对该水闸混凝土结构

进行耐久性检测和分析,以便为工程的安全运行和改造提供技术依据。

1 检测内容与测试依据

1.1 检测内容

a. 对水闸水上部分混凝土结构物外观状况进行全面检查,检查项目包括混凝土表面缺陷、异常变形和破损,对闸底板及消力池护坦进行探摸。

b. 选择典型的闸孔进行重点检测。检测内容包括主要构件的混凝土强度、混凝土碳化深度、保护层厚度、钢筋锈蚀情况。

1.2 检测依据

检测所依据的标准、规范有:①SL 214—1998《水闸安全鉴定规定》;②SL/T 191—1996《水工混凝土结构设计规范》;③SL 265—2001《水闸设计规范》;④JTJ 270—1998《水运工程混凝土试验规程》;⑤JGJ/T 23—2001《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》。

2 检测结果

2.1 外观质量检测结果

使用测尺、裂缝对比卡、读数显微镜等工具,采用察看、丈量等方法检测混凝土结构物施工缺陷、裂缝、混凝土剥落等破损程度及其分布。

a. 闸墩。闸墩为 140 号钢筋混凝土结构,墩厚 1.0 m。闸墩的主要破损有:①施工质量较差缺陷。混凝土不平整,表面布满不规则龟裂纹,露砂露石普遍,局部蜂窝麻面严重;混凝土保护层控制不严,偏筋严重,部分门槽鼓肚凹心。②钢筋锈蚀导致混凝土胀裂剥落,露筋现象普遍。上游墩头部位、闸后(闸门下游)部位及下闸门门槽混凝土破损尤为严重。部分闸墩的墩头部位所有箍筋均已胀裂;部分闸墩的闸后部位混凝土大面积脱落,露出大段钢筋;所有门槽边角及门槽内混凝土剥落破损、露筋,部分门槽从上到下混凝土全部开裂剥落。

另外闸墩还存在其他破损问题,如:部分闸墩上有横向裂缝;个别闸墩顶混凝土大块脱落,造成公路桥大梁支点受损,已影响公路桥的安全运行;南边墩存在一条由不均匀沉降引起的宽度大于 0.35 mm 的纵向裂缝,边墩可能断裂。

b. 闸门。闸门分为上、下两扇,上闸门由钢丝网双曲扁壳面板与钢筋混凝土框架构成;下闸门为钢筋混凝土梁板门。上闸门钢丝网面板下游面布满锈迹、锈斑,局部表层砂浆脱落,外层钢丝网锈断,混凝土框架破损严重,边梁侧面与顶梁底面多处混凝土胀裂、露出锈蚀钢筋,部分边梁所有的箍筋都已外露锈蚀。下闸门纵、横梁边角混凝土局部破损。

c. 隔板。上、下闸门之间的混凝土隔板因受水流的冲刷而磨损,受冲磨处露出的钢筋严重锈蚀,隔板边缘已被冲刷出深浅不一的凹坑,在边缘约 30 cm 的范围内冲刷磨损深度均在 1 cm 以上。

d. 闸底板。在下游水位较低时(水深 40 ~ 50 cm)对闸底板和消力坎近闸端平坦部分的护坦进行了人工水下探摸。通过探摸发现,闸底板结构段之间,闸底板与护坦之间存在 1 ~ 5 cm 的上下错位。分缝止水材料多处破损,甚至全部冲毁,形成一条深约 30 cm 的沟槽。与护坦连接处的闸底板上存在磨损破坏。

e. 消力池。消力坎有冲磨现象,边角多处冲刷缺损,在北岸起 20 m 范围内边角已全部冲损。表面布满宽度为 0.1 ~ 0.2 mm 贯穿整个横断面的周向裂缝。结构段分缝处上下错位约 1.5 cm,分缝呈上宽下窄的形式(水闸基础可能有轻微沉降)。护坦的南北两边块有一定程度下降,南边块比中块约低

1.5 cm,北边块比中间块约低 1.0 cm。

f. 启闭机工作桥。启闭机工作桥墩为钢筋混凝土排架,桥面为 II 型梁式结构。排架柱表面布满不规则裂纹,部分排架存在钢筋胀裂裂缝,立柱与联系横梁上因钢筋锈蚀胀裂造成的混凝土层裂现象严重。II 型梁位于启闭机下的东边第 1 根纵梁,每孔均有 9 ~ 11 条宽度为 0.1 ~ 0.2 mm、贯穿整个梁底断面的应力裂缝,裂缝大多位于梁的中部及横梁两侧。

g. 公路桥。公路桥 T 形梁施工质量较差,表面不平整,大片蜂窝麻面。混凝土保护层厚度控制不好,每块上均有多处混凝土破损、钢筋外露,严重的一孔局部露筋有 20 处之多,主要发生在翼缘处。公路桥钢筋混凝土护栏由于老化病害和常年失修,普遍出现开裂、剥落、露筋等各种病害老化问题。

h. 人行桥。人行桥面板面层龟裂严重,呈脱壳状态,多处脱落,露出锈蚀钢筋。混凝土护坎存在严重顺筋开裂裂缝,多处混凝土剥落、露筋。

2.2 重点检测结果

根据外观质量检测结果,对典型闸孔的主要混凝土结构进行了重点检测。

2.2.1 混凝土碳化深度

在回弹法测定强度的测区,用冲击钻在被测试构件表面打孔,清除钻孔中粉末,在孔内喷涂试剂,用游标卡尺量测得的表层不变色混凝土的厚度即为混凝土碳化深度。各主要结构混凝土碳化深度检测结果见表 1。

表 1 典型闸孔主要结构的混凝土碳化深度检测结果 mm

结构名称	测量值			平均值		
	1 号孔	9 号孔	13 号孔	1 号孔	9 号孔	13 号孔
工作桥梁	4.8 ~ 10.5	2.0 ~ 9.1	3.0 ~ 15.0	6.6	4.7	7.4
工作桥柱	3.8 ~ 13.1	4.0 ~ 8.1	5.0 ~ 8.2	8.7	6.6	6.4
闸墩	2.2 ~ 9.0	2.5 ~ 6.9	17.0 ~ 18.5	5.4	4.8	18.0
上闸门边框	2.2 ~ 7.0	1.0 ~ 2.9	1.1 ~ 3.2	4.8	2.1	2.5
下闸门面板	0			0		
闸门隔板	0.4 ~ 3.0			1.8		
公路桥梁	2.5 ~ 7.0	3.0 ~ 6.0	5.0 ~ 9.6	4.7	4.7	7.1
人行桥梁	6.1 ~ 10.5	4.5 ~ 8.8	14.0 ~ 24.2	8.5	6.5	18.7
翼墙混凝土上游	3.4 ~ 8.9, 下游 2.0 ~ 5.0			上游 6.0, 下游 6.0		

由表 1 可见:①高程低的下闸门尚未碳化。其余结构混凝土均有一定程度的碳化。碳化深度从几毫米到十几毫米;②同一结构的不同构件,以及同一构件不同部位混凝土碳化深度均有明显的差别,其混凝土最大碳化深度与最小碳化深度相差 3 倍。这表明其混凝土密实性差别大,质量不均匀。

2.2.2 混凝土强度

采用 ZC3-A 型回弹仪、冲击钻、试剂、游标卡尺等,在主要构件适当部位按规范布置 10 个回弹测区,每测区设 16 个测点,使用回弹法测量混凝土的

回弹值 ,依据测点回弹值和碳化深度 ,查表确定各测区的强度 ,并按式 (1)和式 (2)确定构件混凝土强度平均值 $\bar{R}$ 和标准差 σ :

$$\bar{R} = \sum_{j=1}^n R_j / n \tag{1}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n R_j^2 - n\bar{R}^2}{n - 1}} \tag{2}$$

式中 : R_j 为测点强度测值 ,MPa ; $\bar{R}$ 为构件混凝土强度平均值 ,MPa ; n 为测点数 ; σ 为标准差 ,MPa。

当 $|R_k - \bar{R}| > 2\sigma$ 时 ,将该点测值 R_k 剔除 ,重新计算 $\bar{R}$ 。

混凝土推定强度按式 (3)确定 :

$$R = \bar{R} - 1.645\sigma \tag{3}$$

离差系数按式 (4)确定 :

$$\nu = \frac{\sigma}{R} \times 100\% \tag{4}$$

将检测与计算结果列于表 2。

由 2 可见 ,强度测量值有一定程度离散。同一类结构不同构件之间及同一构件不同测区的强度均有较大不同。各类结构强度离散程度有所不同 ,闸墩、启闭机排架和启闭机大梁部分构件 ,离差系数较大。可能是当时施工质量控制不严 ,也可能所受老化侵害程度不同 ,导致目前混凝土质量状况很不均匀 ,并且闸墩的部分构件混凝土强度不符合 SL/T191—1996规定的耐久性要求。

2.2.3 混凝土保护层厚度

在主要构件的钢筋部位选若干测点 ,用保护层厚度测定仪测定保护层厚度和钢筋深度分布的情况 ,部分测点用冲击钻除去表面混凝土 ,量测钢筋保护层厚度作为校核。检测结果列于表 3。

表 3 所示的混凝土保护层厚度是在混凝土外观完好处测量得到的。从外观普查情况看 ,闸墩、上闸门框架、工作桥立柱混凝土开裂脱落情况普遍 ,最小保护层厚度只有几毫米。从表 3 可见 ,保护层厚度

测量值离散较大 ,大部分构件混凝土保护层厚度测量值超过 SDJ207—1982 规定的允许偏差(净保护层厚度的 $\pm 1/4$)范围 ,且部分结构或构件混凝土保护层厚度小于设计值 ,说明施工质量相对较差。部分构件不符合 SL/T191—1996 规定的耐久性要求。

表 3 混凝土保护层厚度检测结果 mm

结构名称	测量值		平均值		设计值	规范要求值
	1 号孔	13 号孔	1 号孔	13 号孔		
工作桥梁侧	15 ~ 55	30 ~ 50	33	41	30	35
工作桥梁底	36 ~ 69	38 ~ 72	53	55	30	35
工作桥柱	28 ~ 48	22 ~ 37	41	30	40	35
闸 墩	23 ~ 45	20 ~ 50	37	33	50	45
上闸门边框	17 ~ 46	16 ~ 27	27.5	21.8	30	45
下闸门边框	27 ~ 53	18 ~ 37	37.8	28.4	20	45
公路桥梁侧	27 ~ 37	24 ~ 50	33	33	30	35
人行桥梁底	26 ~ 50	41 ~ 51	43	40	30	35
人行桥梁侧	31 ~ 36	33 ~ 41	34	38		35
人行桥梁底	33 ~ 45	32 ~ 46	37	43		35

2.2.4 钢筋锈蚀率

选择不同破坏程度的构件 ,凿去表层混凝土直至露出已锈蚀钢筋 ,清除钢筋表面锈蚀产物 ,用游标卡尺测量锈蚀后钢筋剩余直径 ,对照设计值计算钢筋截面积损失率。各类结构中钢筋锈蚀后截面积损失率抽样检测结果见表 4。

表 4 钢筋锈蚀损失率抽样检测结果

部 位	钢筋类别	原直径/ mm	剩余直径/mm		最大截面损失率/%	平均截面损失率/%
			测量值	平均值		
启闭机 1 号排架	箍筋	8	6.82 ~ 7.76	7.38	27.32	14.90
7 号闸墩	主筋	12	11.32 ~ 11.66	11.49	11.01	8.32
7 号闸墩	箍筋	8	6.30 ~ 7.86	7.09	37.98	21.49
10 号闸墩	主筋	18	15.20 ~ 16.62	16.10	28.69	19.96
10 号闸墩	箍筋	8	4.84 ~ 6.68	5.70	63.40	49.29
11 号闸墩	主筋	16	14.10 ~ 15.12	14.47	22.34	18.27
北边墩	箍筋	8	0 ~ 3.54	1.85	100.00	94.63
7 号上闸门边框	箍筋	8	7.75 ~ 7.88	7.81	6.15	4.61
11 号上闸门边框	箍筋	8	7.46 ~ 7.78	7.61	13.04	9.63

由表 4 可见 ,钢筋混凝土结构中钢筋均已出现

表 2 混凝土强度检测计算结果

结构名称	测量值/MPa		平均值/MPa		标准差/MPa		离差系数/%		推定值/MPa		设计混凝土标号	规范要求混凝土标号
	1 号孔	13 号孔	1 号孔	13 号孔	1 号孔	13 号孔	1 号孔	13 号孔	1 号孔	13 号孔		
闸 墩	22.7 ~ 50.0	15.7 ~ 43.0	37.9	28.2	10.9	8.6	28.7	30.5	22.7	15.7	140 号	C20
上闸门	50.0 ~ 55.5	53.5 ~ 59.9	53.0	58.4	1.8	1.8	3.4	3.1	50.1	55.5	250 号	C20
下闸门	50.8 ~ 59.8	57.8 ~ 59.5	58.0	58.8	2.6	0.6	4.5	1.0	53.6	57.8	250 号	C20
隔 板	41.6 ~ 49.9		46.3		3.1		6.7		41.1			C20
工作桥柱	20.9 ~ 44.7	17.7 ~ 47.5	25.5	29.8	7.1	11.8	27.8	39.6	20.9	17.7		C15
工作桥梁	28.8 ~ 46.3	30.1 ~ 55.1	37.8	44.3	5.7	8.7	15.1	19.6	28.4	29.9		C15
公路桥梁	38.0 ~ 50.6	25.1 ~ 36.3	43.3	30.6	4.4	3.9	10.2	12.7	36.2	24.1	200 号	C15
人行桥梁	27.3 ~ 39.0	26.0 ~ 33.2	33.1	28.0	3.2	2.2	9.7	7.9	27.8	24.4		C15
翼墙上游	27.5 ~ 36.0		31.2		3.0		9.6		26.2		200 号	C20
翼墙下游	39.2 ~ 56.8		49.4		5.7		11.5		40.1		200 号	C20

不同程度的锈蚀,其中闸墩钢筋锈蚀最严重,10号闸墩主筋最大截面损失率达28.7%,平均损失率已达20.0%,箍筋最大截面损失率达63.4%,平均损失率已达49.3%。北边墩箍筋已锈断。启闭机排架立柱箍筋最大截面损失率也已达27.3%。

3 结果分析

对大寺节制闸钢筋混凝土结构的检测表明,水上(大气中)钢筋混凝土结构外观缺陷十分明显,如顺筋裂缝、露石露砂、钢筋锈蚀、混凝土剥落等耐久性不足问题是该水闸混凝土结构的主要破坏形式。此外水闸混凝土结构还存在以下几种破损:水闸边墩、翼墙、闸底板等部分结构有轻微的位移和不均匀沉降现象;下游消力坎和闸门隔板等过流结构在水流的冲刷作用下发生一定程度磨蚀;启闭机大梁受力部位由于承载力不足而发生应力开裂。

闸墩、上闸门框架、工作桥立柱等结构混凝土最小保护层厚度只有几毫米。从表1所示的混凝土碳化结果来看,这些结构的部分测点碳化深度超过了最小保护层厚度。因此,施工质量控制不严,偏筋严重,局部钢筋的保护层厚度不足,混凝土质量不均匀,局部混凝土碳化较严重,超过保护层厚度,是导致该节制闸水上(大气中)钢筋混凝土结构中钢筋锈蚀的主要原因。

钢筋与混凝土之间的锚固力主要来自两者的黏结及变形钢筋的横肋对混凝土的咬合作用,若锈蚀严重使钢筋截面积减小,势必会降低其力学性能。钢筋截面积损失大于10%、小于60%时,各项力学性能严重下降,钢筋截面积损失达60%时,构件承载能力将降低到与未配筋的构件相近^[2]。检测结果表明,该节制闸各类钢筋混凝土结构中钢筋均已出现不同程度的锈蚀,闸墩抽样检测点钢筋锈蚀最严重处,主筋截面损失率达28.7%,箍筋已锈断。启闭机排架立柱箍筋最大截面损失率也已达27.3%。由此可见,必须对闸墩及启闭机工作桥等钢筋锈蚀严重的构件进行维修加固。

就该水闸钢筋混凝土结构来说,混凝土质量控制不严,局部钢筋的保护层厚度不足,混凝土碳化深度超过保护层厚度,混凝土碳化导致钢筋锈蚀胀裂,是造成水工钢筋混凝土破坏、耐久性不足的主要原因。因此,为了有效提高水工钢筋混凝土结构物的耐久性,在设计时应严格执行现有标准,在施工中应采取有效措施防止钢筋跑位、偏筋,在对预制件进行安装前应进行保护层厚度测量,确保保护层厚度达到设计值,施工中应使用抗渗性能好的混凝土,以

提高混凝土结构的抗碳化能力。

4 结 论

- a. 大寺节制闸建设26年来,整体结构老化,存在安全隐患。
- b. 水闸边墩、翼墙、闸底板等部分结构有轻微的位移和不均匀沉降现象。
- c. 下游消力坎和闸门隔板等过流结构在水流的冲刷作用下发生磨蚀损坏。
- d. 水上(大气中)钢筋混凝土结构混凝土外观缺陷十分明显,如顺筋裂缝、露石露砂、钢筋锈蚀、混凝土剥落破损等,局部已十分严重。
- e. 钢筋混凝土结构的混凝土强度、碳化深度和保护层厚度等参数抽样检测结果的离散性较大,表明该节制闸建造时的混凝土质量不均匀,施工质量较差。
- f. 水上(大气中)部位钢筋混凝土结构破损、耐久性不足的主要原因是混凝土质量控制不严,偏筋严重,局部钢筋的保护层厚度不足,局部混凝土碳化深度超过保护层厚度,导致钢筋锈蚀胀裂。
- g. 闸墩及启闭机工作桥等部分构件钢筋锈蚀已较为严重,需进行维修加固处理。

参考文献:

[1]季诗政.水工钢筋混凝土碳化病害的防治[J].北京水利,1995(2):29-31.
[2]洪定海.混凝土中钢筋的腐蚀与保护[M].北京:中国铁道出版社,1998.

(收稿日期 2006-03-13 编辑:马敏峰)

·小资料·

2000~2005年全球风力发电发展迅速

2000~2005年全球风力发电发展迅速(表1),2005年全球风电装机容量是2001年的3.21倍。从绝对数量来看,德国装机容量最大,2005年约占全球总数的31%,是世界第一风电大国。从增长速度来看,西班牙是世界上发展风电最快的国家,5年间已从世界排名第4位上升至第2位。

表1 2000~2005年全球风电增长情况

年份	风电装机容量/万kW				
	全球	德国	美国	丹麦	西班牙
2000	1 845	611	360	236	223
2001	2 493	875	425	246	355
2002	3 204	1 196	469	288	483
2003	3 935	1 460	637		620
2004	4 755	1 663	674		826
2005	5 932	1 843	915	312	1 003

(吴 高供稿)