

节制闸牛腿裂缝检测及加固处理

孙超君, 曹 猛, 王翘楚, 杨 泽

(江苏省秦淮河水利工程管理处, 江苏 南京 210022)

摘要:针对节制闸牛腿使用过程中出现裂缝情况,通过采用无损检测技术,对牛腿的抗压强度、混凝土表面碳化深度、混凝土内部缺陷及裂缝深度进行详细检测,按照相关规范对牛腿进行承载力验算,分析牛腿开裂的主要原因。根据牛腿受损情况,提出了相应加固处理方案,为同类工程提供可借鉴的经验。

关键词:牛腿; 裂缝; 承载力验算; 置换混凝土; 外包钢加固

中图分类号:TV663 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2022)01-0065-04

Crack detection and reinforcement treatment of control gate bracket

SUN Chaojun, CAO Meng, WANG Qiaochu, YANG Ze

(Management Division of Qinhuai River Hydraulic Engineering of Jiangsu Province, Nanjing 210022, China)

Abstract: In view of the cracks in the use of control brake bracket, by using non-destructive testing technology, the compressive strength of bracket, concrete surface carbonization depth, concrete internal defects and crack depth are examined in detail, the bearing capacity of bracket is checked and the main causes of cracking are analyzed according to National Code. According to the damage of bracket, the corresponding strengthening scheme is put forward, which can be used as reference for similar projects.

Key words: bracket; crack; bearing capacity check; replacement concrete; steel-encased reinforcement

牛腿是节制闸的 1 个重要构件,虽然其尺寸较小,但承担了来自上部工作桥结构的竖向荷载和水平荷载,且电动葫芦等电气设备工作时设备的荷载均通过工字钢轨道传递给支撑牛腿再传递给下部承重结构,应力分布复杂^[1]。导致牛腿裂缝和混凝土剥落的原因很多,为保证工程运行安全,对存在裂缝问题的牛腿进行详细检测,分析其存在原因并进行加固处理是必要的。本文以秦淮新河节制闸为例,对牛腿裂缝检测及加固处理技术进行探讨。

秦淮新河水利枢纽建成于 1982 年 6 月,位于南京市雨花台区经济开发区天后村秦淮新河入江口处,与武定门水利枢纽共同担负着流域 2 631 km²内

的南京、镇江两市的江宁区、溧水区、句容市及南京郊区的防洪、排涝、灌溉、水环境改善及航运等任务。秦淮新河节制闸共 12 孔,设计排洪流量 800 m³/s,校核排洪流量 1 100 m³/s,工程规模为大型(2)型^[2]。节制闸每孔净宽 6 m,闸孔净高 9.5 m,闸身总长 87.3 m,闸身为钢筋混凝土结构,三孔一联平底板,闸门为直升式平板门,分上、下扉,上扉门为钢筋混凝土梁柱钢丝网水泥波形面板结构(门顶以上为钢筋混凝土胸墙),下扉门为钢筋混凝土梁板结构,用 2×125 kN 电动卷扬式启闭机启闭,底板采用直径 1.0 m、深 3.0 m 砂桩基础,底板前后设有防渗板桩。

收稿日期:2021-08-18

作者简介:孙超君(1988—),女,高级工程师,硕士研究生,主要从事水利工程管理工作。E-mail:490963339@qq.com

2019 年汛后检查发现,节制闸 12 号孔牛腿出现 1 道纵向裂缝(图 1),从牛腿承压面指向牛腿外边缘。裂缝对牛腿本身的刚度、抗压强度、抗拉强度等都会产生影响,并可能导致结构行为发生应力重分配,造成进一步的破坏;另外,裂缝对牛腿结构耐久性也会产生不利影响,加速混凝土的碳化,从而缩短牛腿的使用年限。为进一步查找开裂原因,为加固处理提供可靠依据,对牛腿进行全方位的检测。

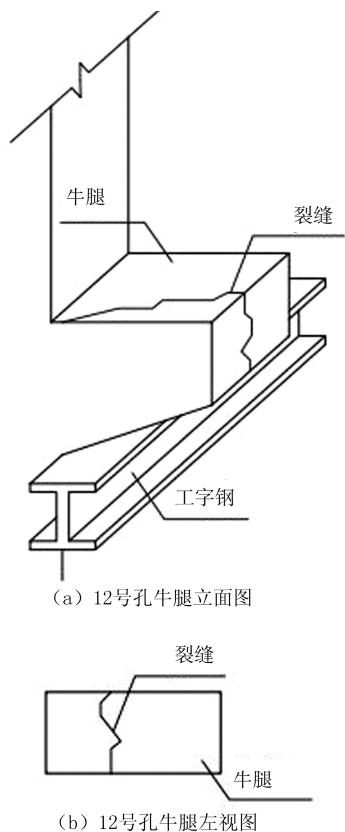


图 1 12 号孔牛腿裂缝示意图

1 现场牛腿检测情况

1.1 混凝土强度检测

依据《水工混凝土试验规程》(SL352—2006)和《水利工程施工质量检验与评定标准》(DG/TJ08—90—2014),在不破坏原混凝土结构的前提下,采用回弹法检测牛腿混凝土现龄期抗压强度^[3]。抽检 5 个牛腿,在抽检的每根构件上分别均匀布置 10 个面积约 200 mm × 200 mm 的回弹测区(见图 2),分别测试其回弹值,每个测区布设 16 个回弹点;再根据超声波波速情况,选定回弹测区,对混凝土强度进行修正。

根据规程,构件混凝土强度推定值按式(1)确定:

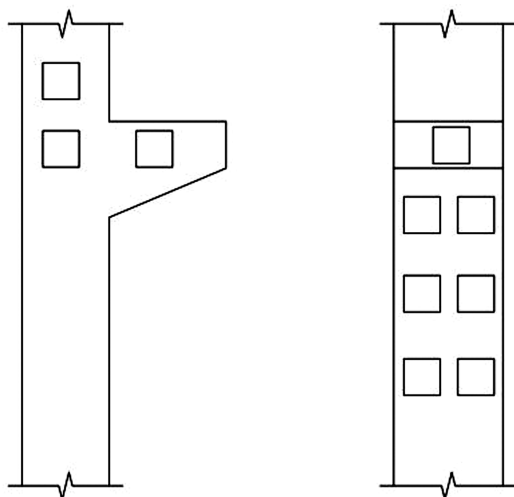


图 2 牛腿回弹测区分布示意图

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu,e}} - 1.645 S_{f_{cu,e}} \quad (1)$$

式中, $f_{cu,e}$ 为构件混凝土强度推定值,MPa; $m_{f_{cu,e}}$ 为测区混凝土强度换算值的平均值,MPa; $S_{f_{cu,e}}$ 为构件混凝土强度换算值的标准差。

根据检测记录,依据规程从测区的 16 个回弹值中剔除 3 个最大值和 3 个最小值^[3],换算结果如表 1 所示。结果表明,牛腿混凝土整体现龄期抗压强度为 23.8 ~ 38.3 MPa,满足原图纸中的设计强度等级 250#混凝土(按照旧标准《混凝土结构设计规范》(TJ10—89)的换算关系,设计强度等级为 C23)要求。

表 1 混凝土抗压强度

构件名称	<i>n</i>	$m_{f_{cu,e}}/\text{MPa}$	$S_{f_{cu,e}}/\text{MPa}$	$f_{cu,e}/\text{MPa}$
1 号孔牛腿	10	28.8	1.01	27.1
5 号孔牛腿	10	30.0	1.30	27.9
8 号孔牛腿	10	32.3	1.26	30.2
11 号孔牛腿	10	34.7	5.52	23.8
12 号孔牛腿	10	41.7	2.08	38.3

2.2 混凝土腐蚀情况检测

因为 12 号孔牛腿有裂缝,采用 Resipod 混凝土电阻率测试仪对 12 号孔牛腿混凝土的腐蚀情况进行检测。将 12 号孔牛腿表面防腐涂层清理后,用砂纸清理混凝土表面浮灰,并将裂缝处混凝土碎渣清理干净。对 2 个外部探头施加电流,测量 2 个内部探头之间的潜在差异,得到电阻率值,结果见表 2。

《混凝土中钢筋腐蚀检测技术规程》(DB34/T1929—2013)中规定:当电阻率大于 100 kΩ · m

表 2 12 号孔牛腿混凝土电阻率以及腐蚀速率

项目	上部		中部				下部		
	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5	测点 6	测点 7	测点 8	测点 9
电阻率/(kΩ·m)	107.6	240.0	178.3	106.5	218.0	178.3	12.5	220.0	34.9
腐蚀速率	极低	极低	极低	极低	极低	极低	中	极低	中

时,即使混凝土在高氯含量或已碳化情况下锈蚀速率也极低;当电阻率值范围在 50 ~ 100 kΩ·m 时,钢筋活化状态下,出现低速率锈蚀;当电阻率值范围在 10 ~ 50 kΩ·m 时,钢筋活化状态下,出现中速率锈蚀;当电阻率值小于 10 kΩ·m 时,电阻率已不是锈蚀的控制因素。

由检测结果看出,12 号孔牛腿测区上部的电阻率范围为 107.6 ~ 240 kΩ·m,腐蚀速率极低;中部电阻率范围为 12.5 ~ 218 kΩ·m,有一个测点处于中锈蚀速率,其余测点腐蚀速率极低;下部电阻率范围为 34.9 ~ 220 kΩ·m,有一个测点处于中锈蚀速率,其余测点腐蚀速率极低。

2.3 混凝土裂缝情况检测

超声波检测法属于无损检测,是目前较为先进的检测技术之一,且仪器轻便,在工程项目中使用较为便捷,所以在工程研究中得到广泛应用。采用超声波检测仪,测量超声脉冲波在混凝土中的传播速度、首波幅度和接收信号主频率等声学参数,根据这些参数及其相对变化,判定混凝土中的缺陷情况。

对 12 号孔牛腿裂缝深度进行检测,结果见表 3。检测结果表明,12 号孔牛腿测区上部的裂缝深度范围为 14 ~ 40 mm,中部的裂缝深度范围为 19 ~ 117 mm,下部的裂缝深度范围为 21 ~ 54 mm。

表 3 12 号孔牛腿裂缝深度情况

项目	上部			中部				下部	
	测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	测点 5	测点 6	测点 7	测点 8	测点 9
超声波波速/(km·s ⁻¹)	0.472	0.449	4.994	3.350	4.484	5.553	9.343	5.336	3.637
裂缝深度/mm	40	14	28	42	19	30	117	21	54

3 牛腿承载力复核分析

根据规程,为满足裂缝控制要求,牛腿顶部按照荷载效应标准组合计算的竖向力与水平拉力值应满足如下关系:

$$F_{vk} \leq \beta (1 - 0.5 \frac{F_{hk}}{F_{vk}}) \frac{f_{tk} b h_0}{0.5 + \frac{a}{h_0}} \quad (2)$$

式中: F_{vk} 为作用于牛腿顶部按照荷载效应标准组合计算的竖向力值,kN; F_{hk} 为作用于牛腿顶部按照荷载效应标准组合计算的水平拉力值,根据该工程实际,仅考虑吊车静止于跨中进行起吊,无水平拉力取值为 0; a 为竖向力作用点至下柱边缘的水平距离,考虑安装偏差 20 mm; β 为裂缝控制系数,支承吊车梁的牛腿取 0.65; b 为牛腿宽度,mm; h_0 为牛腿与下柱交接处的垂直截面有效高度,mm。

12 号孔牛腿结构示意图见图 3。

根据该牛腿构造,在竖向力作用下,牛腿支承面上局部受压应力不应超过 0.75 f_c ,即:

$$F_{vk}/A \leq 0.75f_c \quad (3)$$

根据规范,纵向受拉钢筋应该满足:

$$A_s \geq \frac{F_v a}{0.85f_y h_0} + 1.2 \frac{F_h}{f_y} \quad (4)$$

式中, F_v 为作用在牛腿顶部的竖向力设计值, F_h 为作用在牛腿顶部的水平拉力设计值。

根据该部牛腿构造,承载力需要满足:

$$F_v \leq \frac{0.85A_s f_y h_0}{a} \quad (5)$$

式中, f_y 取 210 MPa, $h_0 = h_1 - a_s + c \cdot \tan\alpha$,其中 $h_1 = 300$ mm, $a_s = 20$ mm, $c = 700$ mm, $\tan\alpha = 0.285$, h_0 取 480 mm, a 取 600 mm。

根据牛腿最小配筋率 0.2% 进行安全复核,节制闸检修闸门起吊时,采用 2 × 3 t 双吊点电动葫

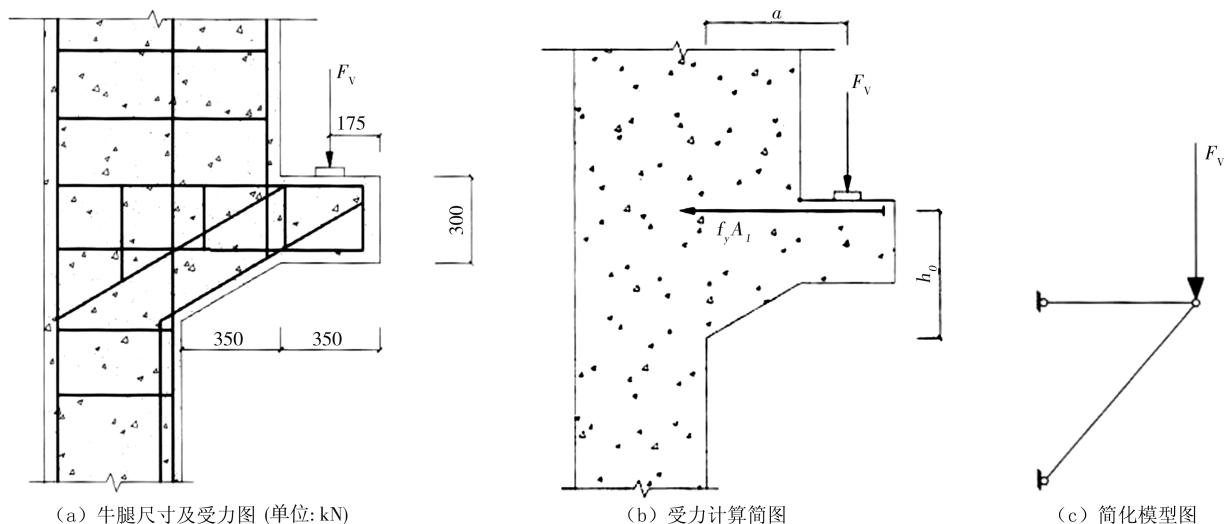


图 3 12 号孔牛腿结构示意图

芦,最大起重重量为:

$$F_{v, \max} = 2 \times 30 \text{ kN} \\ = 60 \text{ kN} < \frac{0.85 \times 500 \times 210 \times 480}{600}$$

因此,牛腿的承载力是符合要求的。

4 牛腿裂缝原因分析及加固处理方案

4.1 裂缝成因分析

综合现场检测、数据处理、计算及理论分析,12号孔牛腿的混凝土强度、混凝土腐蚀速率及承载力均满足现行规范要求。综合分析该节制闸牛腿出现裂缝的主要因素为:12号孔牛腿为大型节制闸边墩,在吊装检修闸门时承担的承载力最大,使用电动葫芦时的牛腿受到的偶然荷载过大,在牛腿内部产生附加应力,从而导致牛腿表层混凝土开裂,应及时处理。

4.2 加固处理方案建议

裂缝的存在威胁混凝土内部的钢筋锈蚀,对结构的耐久性极为不利,需要进行及时处理。如果裂缝较浅,通常处理措施是在裂缝的表面涂抹水泥浆,环氧胶泥或粘贴纤维布等;如果裂缝较宽,或有继续发展增大趋势时,宜采用灌浆法或嵌缝封堵法^[4]。经检测,节制闸12号孔牛腿纵向裂缝最深达117 mm,采用渗透结晶、灌浆等方法难以满足修复,应采用置换混凝土加固法或外包钢加固法加固。

4.2.1 置换混凝土加固法

置换混凝土加固法主要是针对既有混凝土结构或施工中的混凝土结构,由于结构裂损或混凝土存在蜂窝、孔洞、夹渣、疏松等缺陷,或混凝土强度

偏低,而采用挖补的办法,用优质的混凝土将这部分劣质混凝土置换掉,达到恢复结构基本功能的目的。用于置换的新混凝土,流动性应大,强度等级应比原混凝土提高一级,不小于C25置换混凝土应采用膨胀混凝土或膨胀树脂混凝土;当体量较小时,采用细石膨胀混凝土、高强度灌浆料或环氧砂浆等。

4.2.2 外包钢加固法

外包钢加固法是一种广泛采用的混凝土构件加固方法,主要应用于不允许增大原构件截面尺寸,且有大幅提高截面承载能力需求的框架梁、柱、牛腿等大型结构或大跨结构的裂缝修补。通常采用型钢或钢板外包在原构件表面、四角或两侧,并在混凝土构件表面与外包钢缝隙间灌注高强水泥砂浆或环氧树脂浆料,同时利用横向缀板或套箍为连接件,以提高加固后构件的整体受力性能。

为保证工程安全,采用置换混凝土法与外包钢加固法相结合的方案。加固处理方案如下:(1)清理牛腿遭受损坏的部分,凿除已损坏的混凝土,清除表面污物;(2)对混凝土严重损坏部分先采用体外预应力锚筋加固处理;(3)采用强度高一级的混凝土进行修补加固;(4)牛腿两侧外包钢板,并在混凝土构件表面与外包钢缝隙间灌注高强度水泥砂浆或环氧树脂浆料;(5)对全部牛腿表面进行防碳化处理,提高其耐久性。

5 结 语

(1)工程通过采用回弹法、混凝土电阻率测试法、超声波检测法等无损检测技术对牛腿进行了检

(下转第72页)

的脱水蔬菜的用水定额的通用值为 $6.7 \text{ m}^3/\text{t}$ 、先进值为 $5 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

4 结 语

(1) 本文通过对兴化市脱水蔬菜企业进行调查分析, 测算脱水蔬菜的单位用水量, 采用典型单位调查法、二次平均法、冒泡排序法、概率分析法等方法计算用水定额, 综合分析后确定脱水蔬菜的用水定额。

(2) 根据兴化市脱水蔬菜行业的特点, 考虑不同生产模式下用水环节的不同, 对脱水蔬菜企业进行分类, 分为全流程自主生产的自加工脱水蔬菜企业和委外加工后专攻质量管控的外加工脱水蔬菜企业, 分别计算自加工企业和外加工企业的脱水蔬菜用水定额, 体现了用水定额的公平性和公正性。

(3) 研究确定兴化市脱水蔬菜用水定额的通用值和先进值。自加工企业的脱水蔬菜的用水定额的通用值为 $70 \text{ m}^3/\text{t}$ 、先进值为 $36 \text{ m}^3/\text{t}$; 外加工企业的脱水蔬菜的用水定额的通用值为 $6.7 \text{ m}^3/\text{t}$ 、先进值为 $5 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

(4) 兴化市脱水蔬菜用水定额的研究成果可供相关水行政主管部门和脱水蔬菜企业在水资源论证、取水许可、计划用水、节水评价、节水型载体创

建、水权交易等各项用水和节水工作中参考使用。

(5) 为了使兴化市脱水蔬菜的用水定额值更加合理, 便于指导实践, 还需定期调查, 开展水平衡测试, 建立脱水蔬菜用水管理数据库, 开展用水预测课题研究, 为后续用水定额修编提供依据。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国农业部. NY/T 1045—2006 绿色食品脱水蔬菜[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2006.
- [2] 王益强. 脱水蔬菜生产的工艺与设备研究[J]. 南方农机, 2016, 47(7): 47-48.
- [3] 中华人民共和国水利部. GB/T 32716—2016 用水定额编制技术导则[S]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2016.
- [4] 余里红. 工业用水定额编制方法探讨及应用[J]. 水利科技, 2008(3): 32-34.
- [5] 孙晓文, 陈松峰, 何菡丹. 江苏省公共机构用水定额修订实践与探析[J]. 江苏水利, 2021(5): 52-55.
- [6] 臧流俱, 罗秋艳, 陆一谨, 等. 桂林高校学生宿舍用水定额研究[J]. 山西建筑, 2016, 42(29): 114-115.
- [7] 白俊艳, 贾小平. Excel 在生物统计学正态分布概率计算中的应用及探讨[J]. 畜牧与饲料科学, 2016, 37(11): 73-80.

(上接第 68 页)

测, 对牛腿工作状况有了全面的了解, 为下一步裂缝处理提供了可靠依据。

(2) 牛腿加固处理时, 应注意新老混凝土结合面的处理, 确保结合面强度满足要求。加固完成后, 应对牛腿再次进行检测, 确保各项指标满足要求, 运行时应密切观察牛腿外观变化, 确保安全。

(3) 大型水闸的边墩牛腿在设计时应合理调整设计参数的取值范围, 提高边墩牛腿承载力的设计值, 可结合实例开展模型计算研究, 为类似工程设计提供可借鉴的经验。

参考文献:

- [1] 王荣鲁, 李杰, 孙其臣, 等. 某水电站厂房牛腿裂缝检测及成因分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2013(11): 255-258.
- [2] 孙超君, 张宜亮, 赵庆华. 安全生产标准化的推广和应用实践[J]. 中国水利, 2021(2): 53-55.
- [3] 严励. 淮安二堡船闸安全检测技术应用[J]. 江苏水利, 2021(6): 66-68.
- [4] 孙秀梅, 孙志恒, 夏世法, 等. 无损检测及混凝土裂缝处理[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2007(5): 158-161.