

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2009.04.014

闸室墙混凝土的耐撞磨试验

冯长伟^{1,2},秦鸿根¹,常僊宇²

(1.东南大学材料科学与工程学院,江苏 南京 211189;2.昆山市建设工程质量检测中心,江苏 苏州 215337)

摘要 :参照洛杉矶磨耗法进行闸室墙混凝土耐撞磨性能的测定和评价。进行了闸室墙混凝土耐撞磨性能、抗冲击性能和抗冲磨性能的研究,得到混凝土撞磨质量损失率和抗压强度的关系曲线。试验结果表明,参照洛杉矶磨耗法测定和评价混凝土的耐撞磨性能科学合理,经济实用,混凝土的耐撞磨性能和抗冲击性能、抗冲磨性能具有较好的一致性,抗压强度越大,混凝土耐撞磨性能越好,可以通过混凝土抗压强度推算其撞磨质量损失率,为船闸混凝土耐撞磨性能的预测提供了参考依据。

关键词 :闸室墙混凝土,耐撞磨性能,洛杉矶磨耗法,落锤法,水下钢球法

中图分类号 :TU503+.6;TU528.36 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2009)04-0051-04

Test on the impact and abrasion resistance of lock chamber wall concrete//FENG Chang-wei^{1,2}, QIN Hong-gen¹, CHANG Xuan-yu²(1. School of Materials Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China; 2. Kunshan Construct Engineering Quality Testing Center, Suzhou 215337, China)

Abstract :The Los Angeles abrasion test is introduced to determine and evaluate the impact and abrasion resistance of lock chamber wall concrete, and it is compared with the drop hammer method and the under-water steel test. The impact and abrasion resistance, impact resistance and abrasion resistance of lock chamber wall concrete are studied, and the curve between the impact and abrasion mass loss rate of concrete and its compressive strength is determined. The results indicate that it is reasonable, scientific, economical and practical to evaluate the impacting and abrasion resistance of concrete with the Los Angeles abrasion test. There exists good consistency between the impact and abrasion resistance, impact resistance and abrasion resistance of concrete. The larger the compressive strength is, the better the impact and abrasion resistance is. The impact and abrasion mass loss rate of concrete can be determined by the compressive strength. These can provide the reference basis for predicting the impact and abrasion resistance of lock chamber wall concrete.

Key words :lock chamber wall concrete; impact and abrasion resistance; Los Angeles abrasion method; drop hammer method; underwater steel ball method

船闸是水利枢纽工程的主要通航建筑物,混凝土闸室墙是船闸的主要设施之一。闸室墙不仅会受到水流夹杂介质的冲磨作用,还不可避免地会遭受来往船舶的撞磨作用。这些不良作用既会影响到闸室墙的外观质量,又会导致混凝土严重磨损,甚至影响到其安全性和耐久性。因此,进行船闸闸室墙混凝土的耐撞磨性能研究显得尤为重要。然而,关于如何提高混凝土耐撞磨性能的研究报道很少,也尚无统一的试验方法。

国内外关于水工混凝土抗冲磨试验方法的研究较多。美国陆军工程兵团于 1980 年推出水下钢球法,其表面冲磨破坏状态与现场混凝土冲磨破坏状态很相似,1989 年被 ASTM 正式编为 ASTM C 1138—

89《混凝土抗冲磨标准试验方法》^[1]。除了水下钢球法外,国内还有喷砂枪冲磨试验法、气流喷砂法等方法^[2-3]。这些试验方法可用来模拟含推移质高速水流对混凝土表面的冲磨破坏作用,不能模拟船只等机械物体撞击混凝土表面的复杂情况,且大多抗冲磨试验方法较繁琐,周期长,成本高。

目前,国内外尚无统一的冲击试验方法。美国 ACI544 委员会推荐的冲击试验方法有冲压冲击试验方法和冲击弯曲试验方法^[4]。船舶对闸室墙混凝土表面的冲击属于冲压冲击的范畴,可用落锤法来测定混凝土的冲击韧性。该方法虽然操作方便,但只能体现出混凝土受冲击的一面,不能体现混凝土受磨损的另一面。

用以上几种方法测量闸室墙混凝土的耐撞磨性能均不合适,因此,笔者参照洛杉矶磨耗法来进行闸室墙混凝土耐撞磨性能的研究。洛杉矶磨耗法是一种进行测量和评价公路交通用混凝土粗集料耐磨性的方法,之所以能够用来进行闸室墙混凝土耐撞磨性能的评价,笔者认为可以从2方面进行阐述:一是从能量转换的观点来看,船舶与混凝土表面产生碰撞时,其中一部分能量消耗于碰撞时产生的船舶运动及周围水的运动,另一部分能量被混凝土结构的弹性、塑性变形所吸收,混凝土的变形就是缘于应力作用下混凝土产生的应变作用,这种作用会导致混凝土结构的破坏。因此,船舶与混凝土表面产生的碰撞作用属于混凝土的动态特性,也就是混凝土的应变率相关特性。不同作用条件对应不同的应变率代表值,常见的作用种类有蠕变、静载、交通、飞机冲击、地震、打桩、硬物撞击和爆炸等^[5]。船舶对混凝土的撞击属于交通类,和公路用混凝土的撞击特性相似,其应变率都在 $(1 \sim 100) \times 10^{-6}$ 之间。二是从材料本身来看,影响混凝土耐磨性能的主要因素有集料的耐磨性以及集料与砂浆之间的黏结力,用洛杉矶磨耗法进行混凝土磨损试验不仅能考察集料的耐磨能力,还能考察集料与砂浆之间的黏结力。

笔者结合京杭运河皂河三线船闸工程的建设,分别采用水下钢球法、落锤法、洛杉矶磨耗法对混凝土的抗冲磨性能、抗冲性能和耐撞磨性能进行了试验研究。

1 试验方案与方法

1.1 试验方案

为提高闸室墙混凝土的力学、抗裂和耐撞磨等综合性能,采用了掺Ⅰ级粉煤灰、有机合成纤维和聚羧酸类超塑化剂JM-PCA的“三掺技术”来配制闸室墙混凝土。水泥采用P·O32.5和P·Ⅱ42.5;石子为石灰岩碎石,5~31.5mm连续级配;砂子细度模数为2.9;纤维采用PPF纤维和PVAF纤维。混凝土配合比(质量浓度)列于表1中。

1.2 试验方法

1.2.1 混凝土抗压强度试验方法

混凝土抗压强度试验依据GB/T 50081—2002进行。

1.2.2 混凝土抗冲击试验方法

参照ACI544委员会提出的落锤法进行。试件成型尺寸为 $\varnothing 150\text{ mm} \times 60\text{ mm}$ 的圆柱体试件,在标准养护条件下养护28d后进行抗冲击试验。

试件抗冲击性能有4个评价指标:①出现第1条裂缝的冲击次数;②初裂后试件体积膨胀;③

表 1 混凝土配合比							kg/m ³
编号	水泥	粉煤灰	砂	石	水	纤维	JM-PCA
F0	380	0	658	1028	170	0.9(PVAF)	4.99
F10	342	42	626	1028	170	0.9(PVAF)	4.99
F20	304	84	626	1028	170	0.9(PVAF)	4.99
P0	342	42	626	1028	170	0	4.99
P0.6	342	42	626	1028	170	0.6(PVAF)	4.99
P0.9	342	42	626	1028	170	0.9(PPF)	4.99
P1.2	342	42	626	1028	170	1.2(PVAF)	4.99
PP0.9	342	42	626	1028	170	0.9(PVAF)	4.99
PCA1.0	342	42	626	1028	170	0.9(PVAF)	3.84
PCA1.3	342	42	626	1028	170	0.9(PVAF)	4.99
PCA1.6	342	42	626	1028	170	0.9(PVAF)	6.14
I	358	63	663	1178	160	0	2.54
II	380	67	704	1101	170	0	2.91
III	403	71	742	1025	180	0	2.84
IV	345	61	665	1181	170	0	4.06
V	365	65	707	1105	180	0	4.04
VI	324	57	790	1091	160	0	3.35
VII	326	58	669	1190	180	0	2.30
VIII	289	51	750	1173	160	0	3.40
IX	308	55	794	1096	170	0	2.90
POF0	360	0	705	1200	165	0	2.88
POF15	311	54	675	1200	165	1.2(PVAF)	4.02
POF25	280	90	645	1200	160	1.2(PVAF)	4.07
PⅡ F25	270	90	645	1200	165	1.2(PVAF)	3.96
PⅡ 25B	270	90	645	1200	165	0.9(PPF)	3.96

注:除编号为PⅡ F25和PⅡ 25B的混凝土采用P·Ⅱ42.5水泥外,其余均采用P·O32.5水泥。

件与试验仪中4块挡板中的任意3块接触时的冲击次数(试件破坏时的冲击次数);③冲击韧性;④初裂时及破坏时冲击次数的差值。按公式(1)计算冲击韧性来表征混凝土试件的抗冲击性能:

$$W = Nmgh \tag{1}$$

式中:W为冲击韧性,即试件达规定破坏时所吸收的全部冲击能量,N·m;N为试件破坏时的冲击次数,次;m为落锤的质量,4.50 kg;g为重力加速度,9.81 m/s²;h为冲击锤下落的高度,457 mm。

1.2.3 混凝土抗冲磨试验方法

试验按照DL/T5050—2001《水工混凝土试验规程》水下钢球法进行。主要仪器设备有钢球、冲磨仪,内径为 $(300 \pm 2)\text{ mm}$ 、高为 $(100 \pm 1)\text{ mm}$ 的试模以及天平。混凝土抗冲磨指标以抗冲磨强度或者冲磨质量损失率表示,抗冲磨强度按式(2)计算,磨损率按式(3)计算:

$$f_A = \frac{TA}{\Delta M} \tag{2}$$

$$L = \frac{M_0 - M_T}{M_0} \times 100\% \tag{3}$$

式中:f_A为抗冲磨强度,即单位面积上被磨损单位质量所需的时间,h(kg/m²);T为试验累计时间,h;A为试件受冲磨面积,m²;M为经T时段冲磨后试件

损失的累计质量 k_g ; L 为冲磨质量损失率 $\%$; M_0 为试验前试件质量 g ; M_T 为试验后的试件质量 g 。

1.2.4 混凝土耐撞磨试验方法

混凝土的耐撞磨试验参考粗集料磨耗试验方法(洛杉矶磨耗法)进行。主要仪器设备为:磨耗试验机,钢筒内径为 710 mm,内侧长 510 mm,回转速率为 30 r/min,烘箱,温度控制在 $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$;100 粒 $\varnothing 16\text{ mm}$ 的钢球,台秤,感量 5 g。主要试验设备见图 1。



图 1 混凝土撞磨试验设备

试验步骤分为 ①将标准养护 28 d 的圆柱体试件($\varnothing 100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$,每组 3 块)放入 $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘干 48 h,测量混凝土的初始质量 M_0 ;②将 3 块试件和 100 粒 $\varnothing 16\text{ mm}$ 的钢球一起放入钢筒中,然后设定钢筒回转次数 x ,开动机器;③在钢筒回转过程中,试件会受到钢筒和钢球的撞击、摩擦作用而产生破损,回转 x 次后,关闭机器并测量混凝土质量 M_x 。

数据评定方法为:通过公式(4)计算试件在回转 x (根据经验 x 取 300 或 500)次时的质量损失率 Q 来表征其耐撞磨能力。质量损失率越小,说明混凝土耐撞磨性能越好;反之,说明混凝土耐撞磨性能越差。

$$Q = \frac{M_0 - M_x}{M_0} \times 100\%$$

(4)

2 试验结果与分析

2.1 混凝土抗冲击、抗冲磨和耐撞磨试验结果

按照表 1 混凝土配合比制备试件,标准养护 28 d,测量混凝土抗压强度、冲击韧性、冲磨质量损失率和 500 次撞磨质量损失率,试验结果列于表 2 中。图 2(a)(b)(c)分别为混凝土试件采用 ACI 544 推荐的落锤法、DL/T 5050—2001 水下钢球法和洛杉矶磨耗法进行试验后的形状。

2.2 混凝土耐撞磨性能和抗冲击性能的关系

混凝土的抗冲击性能不仅与其强度有关,而且与其韧性息息相关^[1]。纤维的掺入能在一定程度上提高混凝土的韧性。将表 2 中最后 5 组均掺入合成纤维质量分数为 0.1% 的混凝土的冲击韧性和 500 次撞磨质量损失率进行比较,发现从 POF25 到 P II F25 其冲击韧性从 3.03 kN·m 升高到 4.96 kN·m,而 500 次撞磨质量损失率却从 20.1% 降为 11.5%。试验结果表明,随着混凝土冲击韧性的提高,其耐撞磨

表 2 混凝土 28 d 抗压强度、冲击韧性、抗冲磨质量损失率和撞磨质量损失率

编号	28 d 抗压强度 /MPa	冲击韧性 / (kN·m)	冲磨质量 损失率 /%	500 次撞磨质量 损失率 /%
F0	38.7	4.06		16.4
F10	36.4	5.17		16.9
F20	32.8	5.47		17.3
P0	29.3	4.70		19.7
PO.6	37.4	5.21		17.5
P1.2	38.0	7.50		16.7
PP0.9	36.6	5.41		18.3
PCA1.0	35.8	5.02		16.9
PCA1.6	41.1	8.10		14.7
I	45.5			16.3
II	42.9			15.8
III	39.3			17.0
IV	34.7			21.9
V	31.5			18.8
VI	39.0			16.1
VII	25.4			21.1
VIII	30.9			24.4
IX	26.9			23.5
POF25	28.9	3.03	8.99	20.1
POF15	31.7	4.12	7.88	18.2
POF0	32.5	4.10	7.53	17.9
P II 25B	34.9	4.68	6.72	13.0
P II F25	36.8	4.96	6.62	11.5

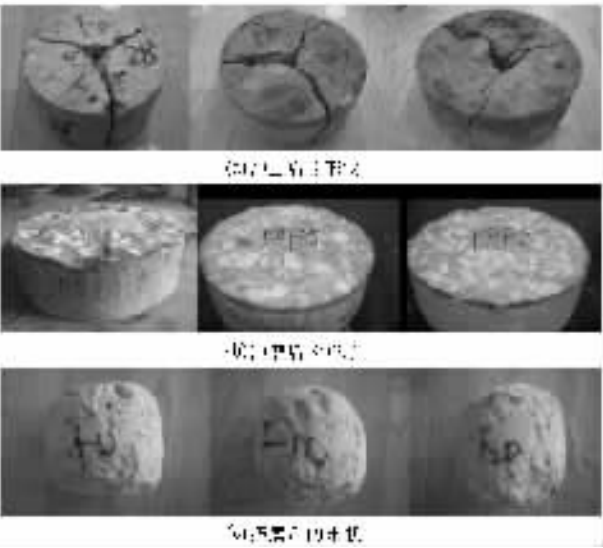


图 2 混凝土试件受冲击、冲磨和撞磨后的形状

性能也逐渐提高,两者具有良好的一致性。说明混凝土的耐撞磨性能越好,需对其施加更大的冲击功才能使其破坏。但抗冲击试验仅体现混凝土承受冲击的能力,耐撞磨试验不但能反映混凝土承受冲击的能力,还能反映出其承受磨损的能力。

2.3 混凝土耐撞磨性能和抗冲磨性能的关系

将表 2 最后 5 组混凝土的 500 次撞磨质量损失率和冲磨质量损失率进行比较,发现从 POF25 到 P II F25 其冲磨质量损失率从 8.99% 降为 6.62%,而 500 次撞磨质量损失率也从 20.1% 降为 11.5%。试验结果表明,随着混凝土冲磨质量损失率的降低,其撞磨

质量损失率也逐渐降低,两者具有良好的一致性。其原因在于两者均依赖于混凝土的抗压强度。但冲磨质量损失率的实测值较撞磨质量损失率小,因为冲磨质量损失率为用来模拟混凝土抵抗水流及其中的固体颗粒高速冲击和磨损的能力,其冲击能量较磨耗试验的冲击小(模拟船舶对混凝土的撞磨作用)。

2.4 混凝土撞磨质量损失率与抗压强度的关系

混凝土抗冲击性能、抗冲磨性能和耐撞磨性能均依赖于混凝土的抗压强度,且水灰比是影响其耐撞磨性能的主要因素,水灰比越小,抗压强度越大,其耐撞磨性能越高^[6-7]。但混凝土撞磨质量损失率和其抗压强度的定量关系如何?笔者对此做了初步的研究。取表2中采用P·O32.5水泥制备混凝土的耐撞磨试验结果,得出混凝土抗压强度和其撞磨质量损失率的关系,见图3。对图3中的试验结果进行回归分析^[8]。结果表明,混凝土500次撞磨质量损失率和其抗压强度存在幂函数关系 $y = 261.26x^{-0.7627}$,相关系数达到0.88。因此,可以通过混凝土抗压强度推算其撞磨质量损失率,这为船闸混凝土或其他具有撞磨特性的混凝土耐撞磨性能预测提供了参考依据。

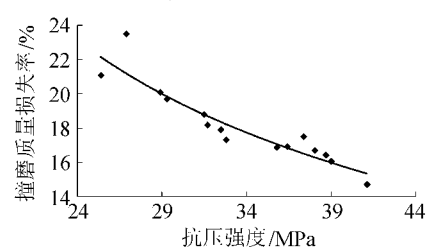


图3 混凝土撞磨质量损失率和抗压强度的回归曲线

回归公式表明,随着混凝土养护龄期的增长,混凝土的抗压强度增大,其耐撞磨性能也会提高。采用“三掺技术”配制的闸室墙混凝土的后期强度较素混凝土有较大的提升,因此其后期耐撞磨性能会好于素混凝土。

3 结 论

a. 与落锤法和水下钢球法相比,采用洛杉矶磨耗法测试和评价船闸闸室墙混凝土的耐撞磨性能科学合理,经济实用。

b. 混凝土抗冲击性能越好,其耐撞磨性能越好,混凝土的抗冲磨性能越好,其耐撞磨性能也越好。混凝土的耐撞磨性能和抗冲击性能、抗冲磨性能具有较好的一致性。

c. 采用P·O32.5制备的混凝土500次撞磨质量损失率和其抗压强度的回归曲线为 $y = 261.26x^{-0.7627}$,相关系数达到0.88。说明混凝土抗压强度越大,其撞磨质量损失率越低,耐撞磨性能越

好。因此,可以通过混凝土抗压强度推算其撞磨质量损失率,这为船闸混凝土耐撞磨性能的预测提供了参考依据。

参考文献:

[1] 冯乃谦.新混凝土实用大全[M].北京:科学出版社,2005.
[2] 杨春光.水工混凝土抗冲磨机理及特性研究[D].陕西:西北农林科技大学,2006.
[3] 王学森.耐磨混凝土配合比试验研究[J].混凝土,2002(4):45-47.
[4] 林小松,杨果林.钢纤维高强与超高强混凝土[M].北京:科学出版社,2002.
[5] 吴胜兴,周继凯.混凝土动态特性及其机理研究[J].徐州工程学院院报,2005,20(1):15-29.
[6] 冯长伟,李思胜,秦鸿根.闸室墙混凝土抗冲击和耐撞磨性能的影响因素研究[J].混凝土与水泥制品,2008(2):38-42.
[7] 冯长伟.闸室墙高性能混凝土抗裂和耐撞磨性能的研究[D].南京:东南大学,2008.
[8] 庞超明,秦鸿根.试验设计与混凝土无损检测技术[M].北京:中国建材工业出版社,2006:44-62.

(收稿日期:2008-09-03 编辑:骆超)

(上接第46页)必须使用合适的原材料来改进混凝土的性能,同时合理选取配合比参数。采用粗颗粒的低热硅酸盐水泥,大量掺加粉煤灰,同时联合使用新一代聚羧酸系减水剂和高性能的引气剂,可以使混凝土的各种性能满足工程应用要求。

参考文献:

[1] 《水利水电工程施工手册》编委会.地基与基础工程[M].北京:中国电力出版社,2004.
[2] 高钟璞.大坝基础防渗墙[M].北京:中国电力出版社,2000.
[3] 林昭.碾压式土石坝设计[M].郑州:黄河水利出版社,2003.
[4] 刘志红.浅谈塑性混凝土防渗墙在水利水电工程中的应用[J].水利技术监督,2000,8(3):22-25.
[5] 白永年.中国堤坝防渗加固新技术[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
[6] SL/T191—96.水工混凝土结构设计规范[S].
[7] 李亚杰.建筑材料[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
[8] 卢剑虹.冶勒水电站坝基防渗墙的混凝土配合比研究及应用[J].水电站设计,2006,22(1):29-33.
[9] 刘数华,方坤河.粉煤灰对水工混凝土抗裂性能的影响[J].水力发电学报,2005,24(2):73-76.
[10] GB200—2003.中热硅酸盐水泥低热硅酸盐水泥低热矿渣硅酸盐水泥[S].

(收稿日期:2008-09-09 编辑:方宇彤)