

文章编号: 1001-4888(2018)04-0641-08

模拟酸雨腐蚀环境下掺锂渣钢筋 混凝土偏心受压柱试验研究^{*}

许开成^{1,2}, 陈博群¹, 陈梦成^{1,2}, 阳翌舒¹

(1. 华东交通大学 土木建筑学院, 江西南昌 330013; 2. 江西省建筑过程模拟与控制重点实验室, 江西南昌 330013)

摘要: 为研究掺锂渣偏心受压混凝土柱在模拟酸雨环境下的侵蚀影响, 对6根不同腐蚀周期和水泥取代率的钢筋混凝土柱进行偏压试验, 得到了受压柱的横向应变、侧向挠度及极限承载力。利用扫描电镜技术对腐蚀后实验柱进行了微观结构观察, 据此分析了各参数变化对掺锂渣偏压柱受力性能的影响。实验结果表明: 经过酸雨腐蚀, 混凝土絮团状C-S-H凝胶逐渐被侵蚀, 其致密结构变得松散而易被破坏, 在宏观上表现为强度下降; 随着腐蚀周期的增加, 所有试件强度均逐渐降低, 但锂渣混凝土柱具有更好的密实性和略高的承载力; 锂渣混凝土与普通混凝土的破坏形态、荷载—变形曲线及发展规律相似; 通过极限承载力的计算值与实验值对比, 发现利用现行混凝土设计规范计算锂渣钢筋混凝土柱偏压承载力是可行的, 计算结果偏于安全。

关键词: 锂渣; 模拟酸雨; 腐蚀; 偏心受压柱; 扫描电镜

中图分类号: TU375

文献标识码: A

DOI: 10.7520/1001-4888-17-066

0 引言

随着工业经济的发展, 工业产品的需求量大大提高, 然而大量工业废料也需要及时地处理。锂渣是硫酸法制备碳酸锂的废渣, 由于锂渣含有较多的无定型 SiO_2 和 Al_2O_3 , 具有较高的火山灰活性^[1,2], 可以做为高活性掺合料加入混凝土中, 从而改善混凝土性质。经研究发现, 利用锂渣制备的高性能混凝土可以改善混凝土性质, 具有良好的抗渗性、抗裂性、抗冻性和保水性^[3-6], 本试验采用物理激发的方法进一步提高锂渣活性^[7], 即通过球磨机机械粉磨增加其细度, 提高其比表面积。锂渣作为工业输出的次要产品甚至废渣, 不仅价格低廉, 而且将其再利用有利于资源再利用和环境保护。

酸雨是指pH小于5.6的大气降水, 由于工业大气污染及带来的气候环境的变化, 导致酸雨情况加重, 总体而言, 目前中国降水年均pH小于5.6的面积约占国土面积的40%, 长江中下游以南地区至少50%以上的面积降水年均小于3.4, 为酸雨重度污染区, 中国酸雨区是继欧洲和北美之后的世界三大酸雨区之一^[8]。张兰芳^[9]研究了锂渣对混凝土试块坍落度、抗碳化能力及抗压强度的影响。张善德等人^[10]通过试验发现, 掺锂渣配制的高性能混凝土具有优良的抗裂性、抗冻性及抗渗透性。本课题组^[11]前期研究发现, 锂渣的掺入能够有效地改善混凝土抗氯离子渗透性能。李振兴等人^[12]研究了掺锂渣再生骨料梁的受弯性能, 发现适量的锂渣掺入, 对试验梁的开裂、屈服和极限荷载都有一定的提高。Al-nuaimi^[13]利用铜渣作为细骨料进行了柱的轴压试验。目前, 国内外对锂渣及其他工业废渣作为掺和料的混凝土受力性能有较多研究, 但对锂渣混凝土构件经酸雨腐蚀后的力学性能研究较少^[14]。本文通过

^{*} 收稿日期: 2017-03-17; 修回日期: 2017-05-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(51468017, 51378206), 江西省重大基金项目(20133BCB24008, 20143ACB20008)

通讯作者: 许开成(1973—), 男, 博士, 教授。Email: 505958373@qq.com

对锂渣钢筋混凝土和普通混凝土试件的对比,研究了锂渣钢筋混凝土偏压柱经历模拟酸雨腐蚀后的力学性能,为锂渣混凝土在建筑业及在酸雨地区的推广和使用提供理论依据。

1 偏心受压柱试验研究

1.1 试验方案

1.1.1 混凝土配合比

试验所采用的锂渣来自于江西省宜春市银锂新能源股份有限公司,经高低温干燥和球磨机磨细后,得到锂渣粒径 $45\mu\text{m}$ 筛余 8%左右,密度约为 $2100\text{kg}/\text{m}^3$ 。锂渣的化学成分见表 1。水泥为洋房牌 42.5 级普通硅酸盐水泥。本试验锂渣按 15%取代率代替水泥^[15,16],其他成分配合比不变,试验所用混凝土配合比见表 2。

表 1 锂渣化学成分表/%

Tab. 1 Chemical composition analysis of lithium slag /%

Li_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	Rb_2O	Cs_2O	SiO_2	SO_3
0.3	8	0.1	2	5	0.2	0.005	72	4

表 2 混凝土配合比

Tab. 2 Mix proportion of the concrete mixtures

混凝土种类	材料用量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)				
	水泥	锂渣	天然砂	天然碎石	水
普通混凝土	470	—	574	1165	188
锂渣混凝土	399.5	70.5	574	1165	188

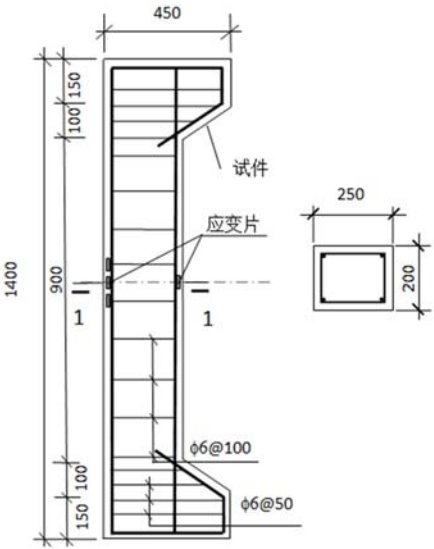


图 1 试件尺寸及配筋示意图

Fig. 1 Specimen size and reinforcement schemes

1.1.2 试件设计制作

本次试验共设计 6 个偏压柱,其中普通钢筋混凝土 3 个,锂渣掺量为 15%的锂渣钢筋混凝土 3 个。混凝土强度为 C40,保护层厚度为 30mm,试验柱采用对称配筋,纵向钢筋为 HRB400,箍筋为 HPB300,试件尺寸为 $250\text{mm}\times 200\text{mm}\times 1400\text{mm}$ 。为方便加载,在试件两端设计了牛腿,为避免柱头局部受压破坏,在柱的两端各 150mm 范围内进行了箍筋加密。偏心受压试件的偏心距为 160mm,以保证柱破坏时为典型的大偏心受压破坏。试验主要考虑锂渣掺量,腐蚀周期

等参数。试件尺寸及配筋见图 1。

在浇筑试件的同时,试验共预留了 18 个标准立方体试块(6 组,每组 3 个),与试件在相同的模拟酸雨环境下进行腐蚀,用于获取在不同腐蚀周期后混凝土的实际抗压强度。通过所获取的实测抗压强度,采用现行的规范公式计算得到各组混凝土偏压柱的计算极限承载力,如表 3 所示。

1.1.3 酸雨腐蚀方案

本文腐蚀试验利用本课题组研制的酸雨、湿热和机械载荷耦合作用模拟试验装置进行,试验装置示意图见图 2,将模拟酸雨溶液放置于水箱中,利用水泵将溶液抽到降雨器中模拟酸雨降水,可利用阀门调整降雨量的大小,酸雨溶液经回流管和过滤网过滤后可循环利用。依据江西地区往年酸雨的酸度及成分配制模拟酸雨溶液,为达到加速腐蚀的效果,通过降低模拟酸雨溶液的 pH 值和提高溶液中有害离子的浓度的方式进行酸雨对试件的侵蚀。溶液的 pH 值设定为 2.3,喷淋时通过稀释后的硝酸溶液来调节 pH 值恒定,模拟酸雨溶液中,离子成分主要为 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 H^+ 等,其中 SO_4^{2-} 的浓度为 $0.01\text{mol}/\text{L}$, NH_4^+ 的浓度为 $0.002\text{mol}/\text{L}$, Mg^{2+} 的浓度为 $0.002\text{mol}/\text{L}$ 。其他离子浓度通过定期添加适量的 Na_2SO_4 、 MgSO_4 和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 来调节。喷淋机制为喷淋 3h、静置 5h,每天 3

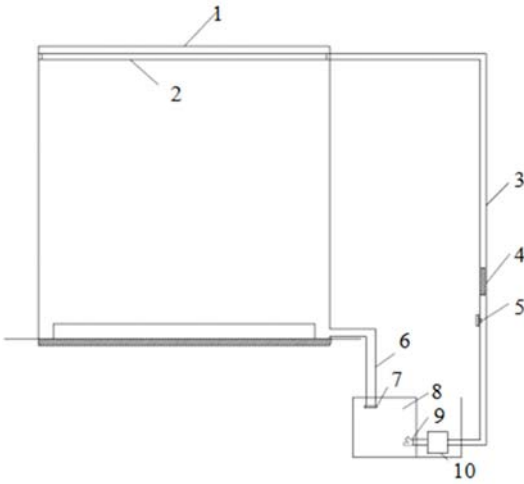
个循环,每天定时对 pH 值和离子浓度进行检测和调整,每周对喷淋室回流到水箱中的溶液进行一次更换。喷淋周期分别为 90d、120d、150d。

表 3 偏压试件一览表

Tab. 3 Eccentric compressive specimen parameter list

试件编号	锂渣 掺量	纵向 钢筋	偏心距 e_0/mm	配筋率 /%	腐蚀 周期/d	立方体抗压 强度/MPa	箍筋	承载力试验 值 N_{ue}/kN	承载力计算 值 N_{uc}/kN	N_{ue}/N_{uc}
PSPY-3	—	4C16	160	2.01	90	38.48	6@50/100	420	357.69	1.17
PSPY-4	—	4C16	160	2.01	120	34.69	6@50/100	400	347.32	1.15
PSPY-5	—	4C16	160	2.01	150	30.75	6@50/100	370	335.31	1.10
LSPY-3	15%	4C16	160	2.01	90	41.04	6@50/100	440	364.16	1.21
LSPY-4	15%	4C16	160	2.01	120	37.51	6@50/100	410	355.14	1.15
LSPY-5	15%	4C16	160	2.01	150	33.36	6@50/100	380	343.42	1.11

注:表中试件编号 PSPY 表示普通偏压柱,LSPY 为锂渣偏压柱, N_{ue} 为试验中所测得的实际极限承载力, N_{uc} 为试验中所计算的极限承载力。



1. 挡板;2. 降雨器;3. 进水管;4. 流量计;5. 阀门;
6. 回流管;7. 过滤网;8. 水箱;9. 过滤器;10. 水泵

图 2 酸雨喷淋装置示意图

Fig. 2 The artificial rainfall device



图 3 偏心受压试验柱

Fig. 3 Eccentric compression column

1.1.4 测点布置及加载方案

试验遵照 GB/T 50152—2012《混凝土结构试验方法标准》的规定进行。在正式加载前,先对试件进行预加载,检查仪器仪表是否正常工作。钢筋的应变测点布置如图 1 所示,在远离荷载一侧每根纵向钢筋中部等距布置 3 个应变片,近荷载一侧每根纵向钢筋中部布置一个钢筋应变片。外部测点布置如图 3 所示,在试验机载物台上布置有 2 个电子位移计,用来测量试验时试件的轴向压缩量;在远离荷载一侧,等间距布置 5 个电子位移计,用于测量试验时试件的侧向挠度。对于混凝土应变的测量,由于试件表面混凝土坑蚀过于严重,在混凝土表面粘贴应变片已十分困难,得出的试验数据会存在较大误差,故试验并未对试件的混凝土应变进行系统地测量。

1.2 试验现象及破坏过程

图 4 所示为经过不同周期的模拟酸雨腐蚀后的两类混凝土柱的表面腐蚀情况,PP 代表普通钢筋混凝土偏压试验柱,LP 为锂渣钢筋混凝土偏压试验柱,数字代表腐蚀周期。从图中可以看出,腐蚀周期越长,混凝土表面的腐蚀程度越严重。对比同周期的两类混凝土柱表面,发现部分锂渣混凝土表面腐蚀程度略微严重。当 150d 时,两类混凝土柱表面的水泥砂浆被严重腐蚀剥落,柱表面呈现蜂窝状,粗骨料完

全暴露且基本被腐蚀。

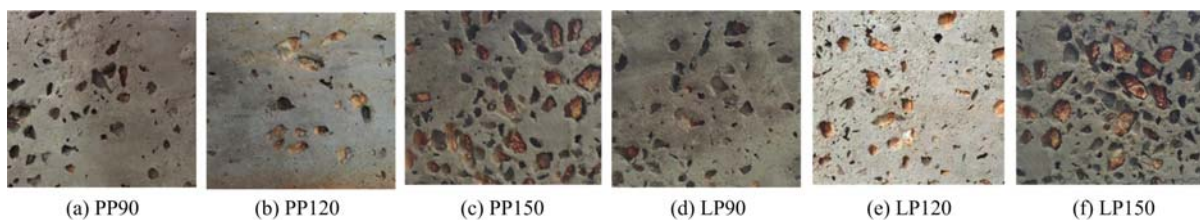


图 4 不同腐蚀周期的两类混凝土柱表面腐蚀程度对比

Fig. 4 Two kinds of concrete component surface corrosion degree in different corrosion cycle

在加载前期,腐蚀偏心受压柱在经历弹性阶段后,远离荷载一侧混凝土出现第一条裂缝,挠度迅速增长。随着荷载继续增加,远离荷载一侧混凝土裂缝不断增多,柱截面开始出现贯穿裂缝,最后,受压区混凝土被压碎脱落,承载力迅速下降,试件宣告破坏,如图 5 所示。试验发现,试件腐蚀周期越长,混凝土受拉侧裂缝越早出现,且试验柱承载力越低。



图 5 偏心受压柱试验现象

Fig. 5 Experiment phenomenon of eccentric compression column

1.3 试验结果及分析

1.3.1 正截面承载力

表 3 列出了试验柱的实测承载力 N_{uc} 与理论计算承载力 N_{tc} , 其中计算承载力 N_{tc} 根据实测材料强度数据采用现行混凝土结构设计规范 (GB 50010—2010) 中的正截面承载力公式求得。由表 3 可知, 经过模拟酸雨腐蚀后, 普通混凝土与锂渣混凝土的极限承载力都有所降低, 对比两类混凝土承载力劣化程度发现, 酸雨对两类试验梁的承载力劣化程度差别不大, 但锂渣混凝土偏压柱极限承载力都略高于普通混凝土偏压柱极限承载力, 说明锂渣的掺入有利于提高混凝土柱的承载力。

通过各组柱承载力的试验值与计算值的比值均大于 1 可以说明, 采用现有的公式计算锂渣偏心受压柱的承载力是可行的, 且留有足够的安全储备。

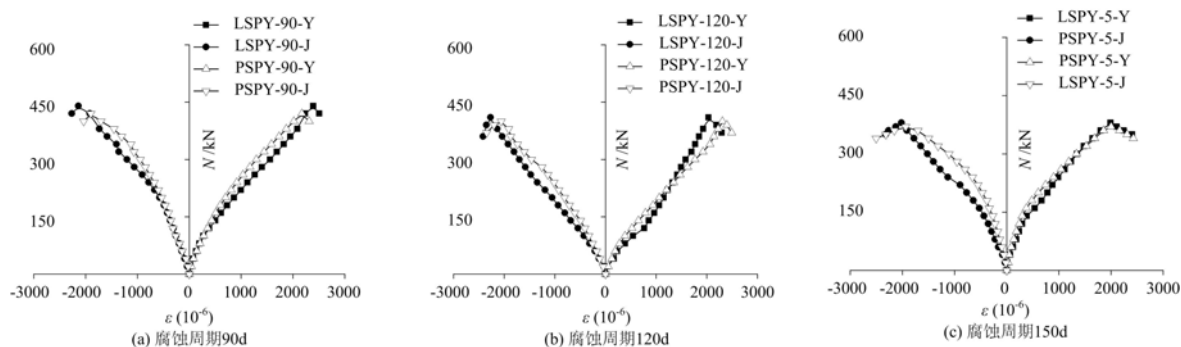


图 6 不同腐蚀周期试件的钢筋应变曲线

Fig. 6 Load-strain curves of specimens in different corrosion cycle

1.3.2 钢筋应变

图 6 所示为两类钢筋混凝土柱在经历不同周期的模拟酸雨腐蚀后, 远轴力侧钢筋应变及近轴力侧钢筋应变随荷载变化的关系曲线 (Y 表示远轴力侧钢筋, J 表示近轴力侧钢筋)。从图中可以看出, 在相同周期的模拟酸雨腐蚀后, 锂渣混凝土柱的钢筋应变发展规律与普通混凝土柱的钢筋应变发展规律基本一致, 锂渣的掺入对试件钢筋应变影响不大。在加载的初期, 钢筋应变发展较为缓慢, 此时钢筋处于完全弹性阶段, 钢筋的应力—应变呈线性关系。随着荷载的逐渐增加, 远轴力侧混凝土开裂, 不再承受拉应力, 此时钢筋应变增长加快。对比不同腐蚀周期的同种类型试件, 发现随着腐蚀周期的增加, 试验

柱能达到的峰值荷载和对应时刻的应变逐渐减小,表明由于模拟酸雨腐蚀的作用,使得混凝土强度降低,对柱的极限承载力有一定的影响。

1.3.3 试件的变形

图7所示为不同腐蚀周期下的两类混凝土试件的荷载—轴向变形($N-\Delta$)关系曲线。由图可知,各类试件的 $N-\Delta$ 曲线线型基本相同,发展规律基本一致。随着腐蚀周期的增加,试件能达到的峰值荷载和刚度都会逐渐降低。通过比较两类混凝土刚度劣化情况可以发现,当腐蚀周期达到90d和120d时,锂渣混凝土与普通混凝土刚度及刚度劣化程度基本一致,但随着腐蚀周期增加到150d,锂渣混凝土比普通混凝土的刚度劣化程度有增大趋势,但此时其峰值应力和对应的变形都略高于普通混凝土,说明酸雨腐蚀对锂渣混凝土刚度后期影响略高于普通混凝土,但对其承载力和延性的影响要比普通混凝土略低。

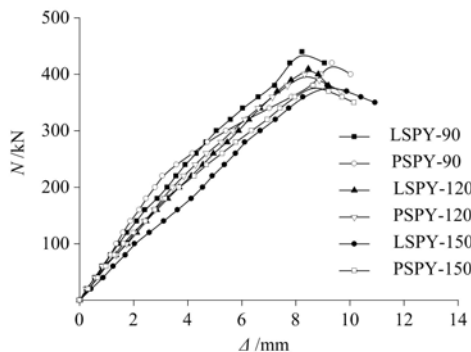


图7 所有试件的荷载—轴向变形曲线

Fig. 7 $N-\Delta$ curves of specimens

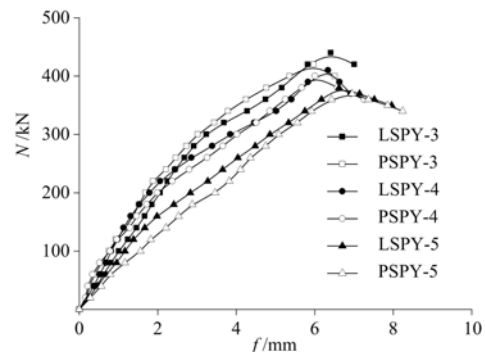


图8 所有试件的荷载—侧向变形曲线

Fig. 8 $N-f$ curves of specimens

图8为不同腐蚀周期下的两类混凝土偏心受压柱的荷载—侧向变形($N-f$)关系曲线。从图中可以看出,同腐蚀周期的两类混凝土的荷载—轴向变形曲线相差不大,且各种类型的混凝土偏心受压柱侧向变形随荷载变化的发展规律基本一致,锂渣的掺入并未对混凝土的侧向变形发展规律产生显著影响。通过对比发现,随着腐蚀周期的增加,同类型的混凝土试件的侧向变形发展呈加快趋势,达到峰值荷载时的侧向变形逐渐增大,说明模拟酸雨腐蚀使得试验柱的变形加快,试件的整体性下降。

2 SEM 扫描电镜试验分析

2.1 试验取样

本次试验使用美国FEI公司生产型号为QUANTA 200F的扫描电子显微镜。样品取自经过不同周期模拟酸雨腐蚀后的普通钢筋混凝土及锂渣钢筋混凝土柱。试样尽量选取高度在1cm以下且体积在 1cm^3 左右,观察面平整的小样,在试验前对试样观察面进行清理,去除灰尘、水分等杂质。对试样进行标记后,用导电纸粘在试样盘上,将其放入真空机内抽真空,然后在样品表面喷涂导电层,如图9所示,最后放入扫描电镜的镜室中观测。试验更换样品时,轻拉开关门,避免镜筒产生过大振动,且更换样品后及时关门,避免样品在空气中暴露时间过长。



图9 试样表面喷涂导电层

Fig. 9 Spraying conducting layer to test specimens

2.2 试验结果及分析

普通硅酸盐水泥的主要成分是硅酸盐,包括硅酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)、硅酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)和铝酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)等。在水泥水化过程中,硅酸三钙及硅酸二钙与水反应均生成氢氧化钙 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及水化硅酸钙凝胶(C-S-H)。C-S-H凝胶难溶于水,形状为无定型的胶体颗粒,在扫描电镜下一般表现为球状、絮状突起、边缘圆滑,不存在针状尖角。随着酸雨的腐蚀,在C-S-H凝胶结构中球状

结构逐渐减少,并产生大量的毛细孔,部分晶体有尖锐棱角出现,结构逐渐瓦解并产生细微裂缝,与此同时,混凝土经硫酸盐腐蚀产生膨胀物如钙矾石(AFT)等,通过扫描电镜可以观察到大量的短棒状 AFT 晶体和方块状 CH 晶体。随着腐蚀进行,更多的钙矾石和石膏将产生,其膨胀应力促使混凝土裂缝扩大,使硫酸根离子更易渗入混凝土内部发生腐蚀,影响混凝土强度。

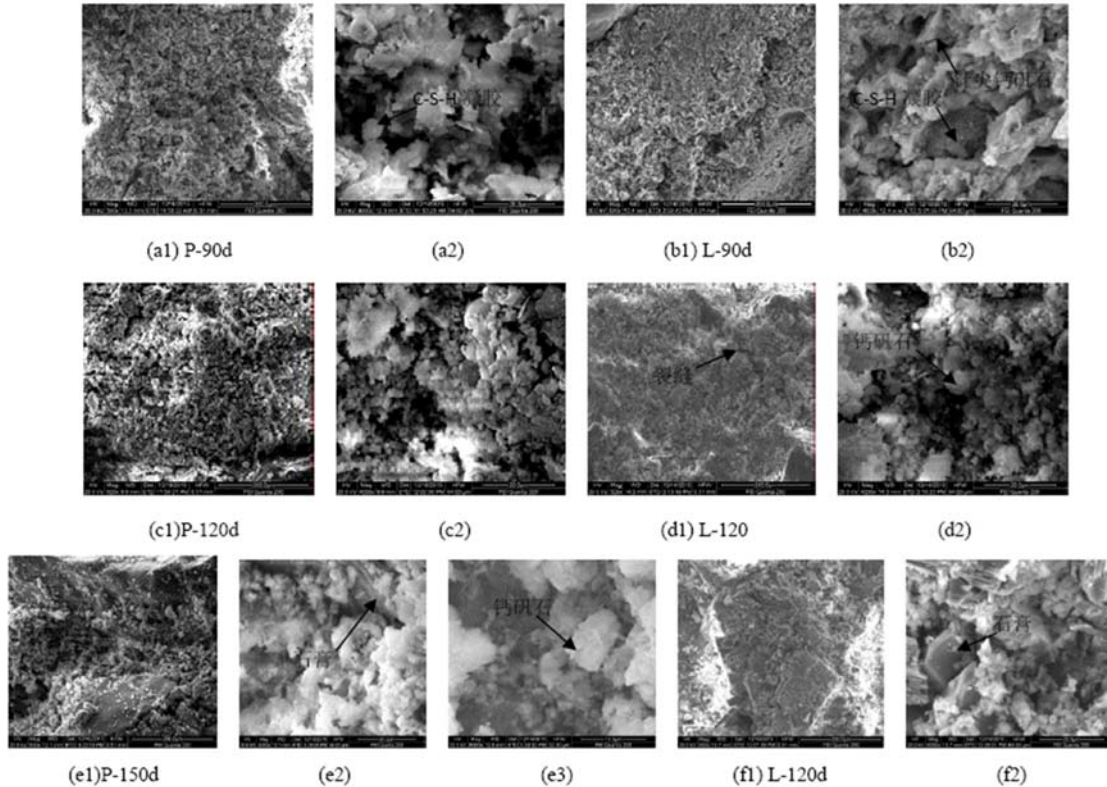


图 10 不同腐蚀周期的混凝土微观结构及局部放大图

Fig. 10 Different corrosion cycle microstructure of concrete and partial enlargement

图 10 为不同腐蚀周期的混凝土微观结构及局部放大图(P 为普通混凝土,L 为掺锂渣混凝土,数字表示腐蚀周期,右图为局部放大图)。当腐蚀周期为 90d 时,通过对比发现,掺锂渣混凝土通过更剧烈的水化反应产生更多结构致密的絮状 C-S-H 凝胶,同时由于酸雨腐蚀生成的尖角状钙矾石填充在混凝土空隙中,使掺锂渣混凝土经 90d 腐蚀后比普通混凝土具有更致密的基本骨架。随着腐蚀周期到达 120d,两类混凝土表面均散落着许多钙矾石晶体,且都出现了明显的裂缝,通过对比发现,普通混凝土裂缝比掺锂渣混凝土略深,同时通过局部放大图可以看出,普通混凝土比掺锂渣混凝土更有颗粒感。随着腐蚀周期达到 150d,两类混凝土表面均被严重腐蚀,对比两类试件发现,普通混凝土比掺锂渣混凝土表面腐蚀略微严重,其结构疏松,表面散落着溃散状水泥砂浆及大量被水泥砂浆覆盖的短棒状钙矾石。通过对比不同腐蚀周期的同类试件微观图发现,混凝土经过长期酸雨腐蚀,其微观结构将受到严重破坏,在宏观上表现为试验柱产生较多的小孔洞和微裂缝,从而使其承载力、刚度和耐久性降低,这与宏观的力学试验结果相一致。

3 结论

通过对 6 根偏压柱的试验数据及扫描电镜微观结构图的对比分析,初步得出以下结论:

- (1) 利用现行的混凝土规范公式计算锂渣混凝土偏压柱的承载力是可行的。
- (2) 经过模拟酸雨的腐蚀,普通混凝土和锂渣混凝土试件发展规律基本一致,其承载力与刚度都随腐蚀周期的增加而降低。
- (3) 普通混凝土与掺锂渣混凝土由于受酸雨的腐蚀,其絮团状 C-S-H 凝胶逐渐被侵蚀,短棒状钙矾

石及溃散状水泥砂浆逐渐增多,其致密结构变得松散而易被破坏,但由于锂渣的掺入,改善了混凝土内部的孔隙结构,使锂渣混凝土柱具有更好的密实性和略高的承载力。

(4) 在同周期的模拟酸雨腐蚀后,普通混凝土与锂渣混凝土的钢筋应变发展规律基本一致,说明锂渣的掺入对钢筋性能影响不大。

参考文献:

- [1] 李春红, 费文斌. 浅谈锂渣在建材工业中的研究与应用[J]. 世界有色金属, 2000, 10:21—24 (LI Chunhon, FEI Wenbin. Introduction to research and application in building materials industry of lithium slag [J]. World Nonferrous Metal, 2000, 10:21—24 (in Chinese))
- [2] 费文斌. 利用锂渣取代部分水泥配制混凝土[J]. 水泥技术, 1998, 6:36—40 (FEI Wenbin. Use lithium slag to partially substitute cement in the proportion of concrete[J]. Cement Technology, 1998, 6:36—40 (in Chinese))
- [3] 温勇, 刘国君, 秦志勇, 等. 锂渣粉对混凝土氯离子渗透性的影响[J]. 混凝土, 2011(8):76—78 (WEN Yong, LIU Guojun, QIN Zhiyong, et al. Study on the effect of lithium slag powders upon the chloride penetration of concrete[J]. Concrete, 2011(8):76—78 (in Chinese))
- [4] 杨恒阳, 周海雷, 侍克斌, 等. 锂渣粉煤灰高性能混凝土早期抗裂性能试验研究[J]. 混凝土, 2012(1):65—67 (YANG Hengyang, ZHOU Hailei, SHI Kebin, et al. Experimental study on cracking resistance at early ages of high performance concrete added with lithium slag and fly ash[J]. Concrete, 2012(1):65—67 (in Chinese))
- [5] 张兰芳. 高性能锂渣混凝土的试验研究[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2007(6):877—880 (ZHANG Lanfang. Experimental study on high-performance lithium-slag concret[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2007 (6):877—880 (in Chinese))
- [6] 秦拥军, 罗玲, 徐虎, 等. 锂硅粉对新拌混凝土性能的影响研究[J]. 混凝土, 2010(8):108—109, 112 (QIN Yongjun, LUO Ling, XU Hu, et al. Study on properties of fresh concrete by using Li-Si alloy powder[J]. Concrete, 2010(8):108—109, 112 (in Chinese))
- [7] 吴福飞, 王国强, 侍克斌, 等. 锂渣的综合利用[J]. 粉煤灰综合利用, 2012(3):46—50 (WU Fufei, WANG Guoqiang, SHI Kebin, et al. The comprehensive utilization of lithium slag[J]. Comprehensive Utilization of Fly Ash, 2012(3):46—50 (in Chinese))
- [8] 张新民, 柴发合, 王淑兰, 等. 中国酸雨研究现状[J]. 环境科学研究, 2010(5):527—532 (ZHANG Xinmin, CHAI Fahe, WANG Shulan, et al. Research progress of acid precipitation in China [J]. Research of Environmental Sciences, 2010(5):527—532 (in Chinese))
- [9] 张兰芳. 锂渣混凝土的试验研究[J]. 混凝土, 2008(4):44—46 (ZHANG Lanfang. Study on performance of concrete mixed with lithium slag[J]. Concrete, 2008(4):44—46 (in Chinese))
- [10] 张善德, 侍克斌, 裴成元, 等. 高性能锂渣混凝土的试验研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2011(3):3—5, 24 (ZHANG Shande, SHI Kebin, PEI Chengyuan, et al. Experimental study on high-performance lithium slag concrete[J]. Fly ash comprehensive utilization, 2011, (03):3—5+24(in Chinese))
- [11] 许开成, 付斌, 陈梦成, 等. 压力作用下锂渣混凝土氯离子渗透性研究[J]. 实验力学, 2016(6):819—826 (XU Kaicheng, FU Bin, CHEN Mengcheng, et al. On the chloride on permeability of lepidolite slag concrete under pressure[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2016(6):819—826 (in Chinese))
- [12] 李振兴, 秦拥军, 严文龙. 掺锂渣再生粗骨料混凝土梁受弯承载力试验研究[J]. 建筑科学, 2017(1):29—35 (LI Zhenxing, QIN Yongjun, YAN Wenlong. Experimental research on the flexural property of doping lithium slag recycled coarse aggregate concrete beams[J]. Building Science, 2017(1):29—35 (in Chinese))
- [13] Alnuaimi A S. Use of copper SLAG as a replacement for fine aggregate in reinforced concrete slender columns[C] //International Conference on Computational Methods. New Forest, UK, 2009:125—133.
- [14] 李鸿芳, 刘晓红, 陈剑雄. 模拟酸雨对石粉锂渣超早强超高强混凝土的侵蚀研究[J]. 硅酸盐通报, 2009(4):829—834 (LI Hongfang, LIU Xiaohong, CHEN Jianxing. Simulation study of acid rain on super-early and super-high strength concrete containing limestone powder and lithium slag [J]. Silicate Bulletin, 2009(4):829—834 (in Chinese))
- [15] 许开成, 聂行, 陈梦成, 等. 掺锂渣钢筋混凝土梁的受弯性能试验研究[J]. 铁道建筑, 2016(3):13—16 (XU Kaicheng, NIE Hang, CHEN Mengcheng, et al. Experimental study on flexural performance of reinforced

concrete girder mixed with lithium slag[J]. Railway Engineering, 2016(3):13–16 (in Chinese))

- [16] 许开成, 阳翌舒, 陈梦成, 等. 锂渣钢筋混凝土轴压短柱试验研究[J]. 混凝土, 2016(7):7–9, 12 (XU Kaicheng, YANG Yishu, CHEN Mengcheng, et al. Experimental study on axial compression short column of lithium slag reinforced concrete[J]. Concrete, 2016(7):7–9, 12 (in Chinese))

Experimental investigation on lithium slag doped eccentrically loaded reinforced concrete column in a simulated acid rain corrosion environment

XU Kai-cheng^{1,2}, CHEN Bo-qun¹, CHEN Meng-cheng^{1,2}, YANG Yi-shu¹

(1. East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. Key Laboratory of Control and Simulation of Construction Process of Jiangxi Province, Nanchang 330013, China)

Abstract: In order to study the influence of simulated acid rain corrosion environment on lithium slag doped eccentrically loaded concrete column, eccentric compression experiment was carried out 6 specimens of reinforced concrete columns with different corrosion cycles and cement substitution rates. The transverse strain, lateral deflection and ultimate bearing capacity of tested columns were obtained. The microstructure of the corroded column specimen was observed by scanning electron microscope (SEM), based on this, the influence of parameter variation on the mechanical properties of lithium slag doped eccentrically loaded column was analyzed. Experimental results show that after acid rain corrosion, the concrete floc like C-S-H gel is gradually eroded, its compact structure becomes loose and easy to be destroyed, and the strength decreases macroscopically. With the increase of corrosion cycle, the strength of all specimens decreases gradually, but the lithium-slag doped concrete column has better compactness and slightly higher bearing capacity. Comparing lithium slag doped concrete with ordinary concrete, the failure patterns, load-deformation curve and evolution are all similar. Comparison between calculated and experimental values of ultimate bearing capacity, it is found that it is feasible to calculate the bearing capacity of lithium-slag doped reinforced concrete columns by using the current design code of concrete, and the calculated results are more safety.

Keywords: lithium slag; simulated acid rain; corrosion; eccentrically loaded column; scanning electron microscopy (SEM)