

玻璃纤维增强混凝土井盖 受力性能的研究*

刘立新

刘克己

高会宗

(郑州工学院土建系)

(郑州市政工程管理处)

(化工部石家庄管理干部学院)

提 要: 本文在玻璃纤维增强水泥(混凝土)基本力学性能试验的基础上给出了城市道路中玻璃纤维混凝土井盖在垂直荷载作用下的试验结果。试验研究表明,采用合理的工艺和配比制作的玻璃纤维混凝土井盖开裂荷载明显推迟,构件达到板+限承载力以后的变形能力大,延性好,有较好的韧性和吸能性。长达两年的玻璃纤维混凝土井盖的路用试验表明,用这种方法制作的井盖可满足城市现行各级道路各类车辆荷载的要求,价格也较便宜,有明显的社会经济效益。

关键词: 玻璃纤维、混凝土、GRC

中国图书分类号: TU37

城市道路中各种功能的井设施需用大量的井盖,目前使用的井盖多为钢筋混凝土或铸铁盖。随着城市交通的发展,车流量、轴载、车速都在增长,现用的钢筋混凝土井盖显得强度不足,损坏严重。铸铁井盖不仅造价高而且常有丢失,使道路行人车辆跌落井中,事故屡屡发生。仅根据1983年初到1985年5月河南省郑州、洛阳、信阳等十二个城市的不完全统计,铸铁井盖被盗3351个,直接经济损失26.3万元,发生事故120多起,死亡4人,伤残48人,毁坏车辆60多辆,造成不小的经济损失和社会影响,其它省市也有类似情况发生。要解决这一问题,除了市政部门加强管理外较有效的办法是改善造价低无被盗之虑的钢筋混凝土井盖的受力性能,提高其强度和耐冲击性,使之满足要求。

玻璃纤维增强水泥(混凝土)制品——GRC具有较好抗冲击性能,自60年代英国研制成耐碱玻璃纤维(Cem-fil)初步解决了玻璃纤维遭受水泥腐蚀的问题以来,GRC制品的应用日益广泛。中国建筑材料科学研究院近年来吸取国外经验并结合我国的特点研制成性能更好的耐碱玻璃纤维,目前国内已有数家工厂生产,为GRC制品在我国的推广创造了条件。为了进一步扩大GRC制品的应用范围,特别是应用于承重构件,郑州工学院和郑州市政工程管理处等单位在对GRC基本力学性能试验的基础上进行了玻璃纤维混凝土井盖在垂直荷载下的受力性能和井盖的道路受荷试验,取得了较好的效果,对GRC制品用于承重构件和解决城市道路井盖损坏被盗问题作了有益的尝试。

* 收稿日期:1991-01-030

1 玻璃纤维水泥（混凝土）试件的受压和受拉试验

1.1 试验概况

试件分为二类，受压试件和单向拉伸试件，试件的形状及尺寸见图 1，变化因素为纤维体积含量（ $V_f=2.83\%$ 、 3.27% 、 3.82% ），纤维长度为 $L_f=37\text{mm}$ ，基体配合比为，水泥：水：砂 = 1：0.45：0.5，水泥用量为 $600\text{kg}/\text{m}^3$ 。玻璃纤维采用中国建材科学研究院研制，河南温县建筑公司玻纤厂生产的 ER-13 型耐碱玻璃纤维，水泥标号为 425，试件制做时掺用外加剂木钙素为水泥重量的 0.25%。

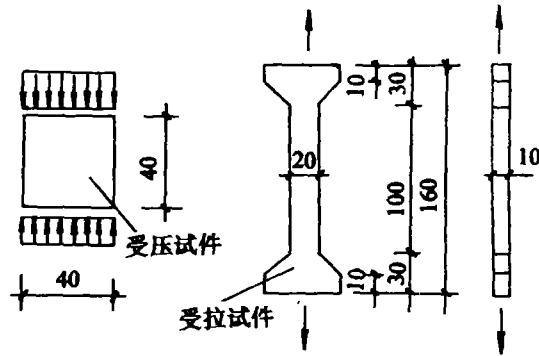


图 1

受压试验在 150kN 液压万能试验机上进行，单向拉伸试验在 40kN 木材万能试验机上进行，单向拉伸试件两个侧面各贴一片 $5\times 80\text{mm}$ 的电阻应变片，将两个应变片串联，按半桥法接入 YJ-5 电阻应变仪，以量测试件的拉应变，试件屈服前由荷载控制加荷，屈服后由应变控制加荷。

1.2 受压试验结果及分析

试件中的玻璃纤维近于二维乱向分布，其受压性能具有明显的方向性，即垂直纤维分布面和平行纤维分布面两个方向，存在着垂直纤维分布面受压和平行纤维分布面受压两个强度指标，分别称为垂直抗压强度和平行抗压强度。

表 1 给出了受压试验结果，可以看出垂直抗压强度比平行抗压强度平均高出约 85%，与不加玻璃纤维的对比试件比较，垂直抗压强度平均提高 17.5%，平行抗压强度平均降低 35.8%，且平行抗压强度离散性较大。

表 1 受压试验结果

试件 组号	玻纤体 积掺量 $V_f(\%)$	抗压强度统计特征值					
		垂 直 受 压			平 行 受 压		
		平均强度 (N/mm^2)	离散率 δ	试件个数 n	平均强度 (N/mm^2)	离散率 δ	试件个数 n
GC1	2.83	41.6	0.1	6	20.2	0.157	5
GC2	3.27	46.2	0.051	6	27.0	0.152	7
GC3	3.87	47.3	0.091	3	26.6	0.176	6
对比试件	0	38.3			38.3		

1.3 单向拉伸试验结果及分析

水泥试件中加入耐碱玻璃纤维增强后，有许多极为重要的特点。就本次试验的三组试件而言，应力应变关系曲线具有相似的形状，受拉破坏时都形成了多缝开裂的形式，裂缝

细小而紧密, 从本质上改变了水泥试件单一断裂面和断裂面小的破坏形式。表2给出了受拉试件的试验结果。

玻璃纤维增强混凝土单向拉伸的受力过程可分为四个阶段: 弹性阶段、阻裂增强阶段、开裂屈服阶段和强化阶段。每一阶段都有着不同的变形特点和受力机理, 并与内部裂缝的引发和扩展相联系。图2是玻纤混凝土试件单向拉伸应力应变关系和各阶段裂缝发展示意图。

表2 受拉试验结果

试件编号	中间段几何尺寸 (mm)	纤维体积含量 V_f (%)	比例极限 (N/mm^2)	比例极限 (10^{-6})	屈服应力 (N/mm^2)	屈服应变 (10^{-6})	极限应力 (N/mm^2)	极限应变 (10^{-6})
GT1-1	12.1×28.0	2.83					3.21	1980
GT1-2	17.5×26.4		1.50	225	2.29	439	2.94	2980
GT1-3	17.4×26.2		1.90	175	2.34	386	2.55	1513
GT1-4	13.7×26.9		1.90	150	2.06	400	3.25	2400
GT1-5	20.8×25.8				3.00	375	3.35	2940
GT2-1	17.5×26.8	3.27	2.04	175	3.38	1000	5.07	3330
GT2-2	13.8×25.5		2.04	125	4.05	654	5.01	3545
GT2-3	14.0×25.5		2.20	200	4.01	850	5.14	3545
GT2-4	17.3×27.5				2.85	475	4.64	3340
GT3-1	11.5×25.5	3.82	3.00	280	4.29	700	5.31	5155
GT3-2	13.8×25.5		2.06	263	3.20	918	5.57	5199
GT3-3	25.8×16.4		2.06	175	3.70	1050	5.22	7000

①弹性阶段, 图2中的OA段, σ - ϵ 关系成线性, 在此阶段卸荷残余应变接近于零。基材中掺入的玻璃纤维一方面承担荷载, 另一方面还限制了基材微裂缝的早期发展。在此阶段, GRC的性能与水泥基材类似。

②阻裂增强阶段, σ - ϵ 关系由直线变为曲线(图2中AB段)。在此阶段水泥基体内部有一定程度的开裂, 但裂缝的扩展是稳定的, 纤维有效地起到了阻止裂缝扩展降低裂纹尖端应力集中程度的作用。曲线在B点变为零, 出现可见裂缝, 这一点称为屈服点, 对应的应力和应变称为屈服应力和屈服应变。

③开裂屈服阶段, 图2中BC段, 近似为一水平段, 在此阶段纤维承担全部外荷载并将其传递给水泥基

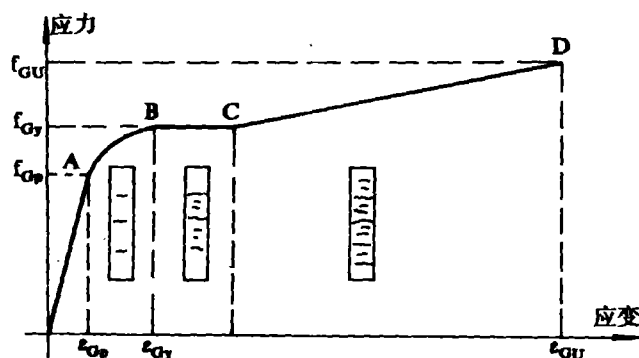


图2

体,产生新的裂缝,在C点裂缝形态迟滞稳定。

④强化阶段,图2中CD段,为一斜率较小的直线,纤维承担全部外荷载并桥连了两侧基体,保持了复合材料的整体性。在D点GRC获得极限应力和极限应变,荷载再增加,纤维拉断试件破坏。

图3为几条重复加载的应力应变关系曲线,分析这几条曲线可归纳出以下几点:

①在有限次重复荷载作用下,应力应变关系的骨架曲线和一次加载的应力应变曲线相近。

②随着荷载的增大,加载线斜率和卸载线斜率都在不断减小。

③在弹性阶段,残余应变接近于零,在阻裂增强阶段,残余应变与多缝开裂完成后的应变接近,有很好的恢复特性。

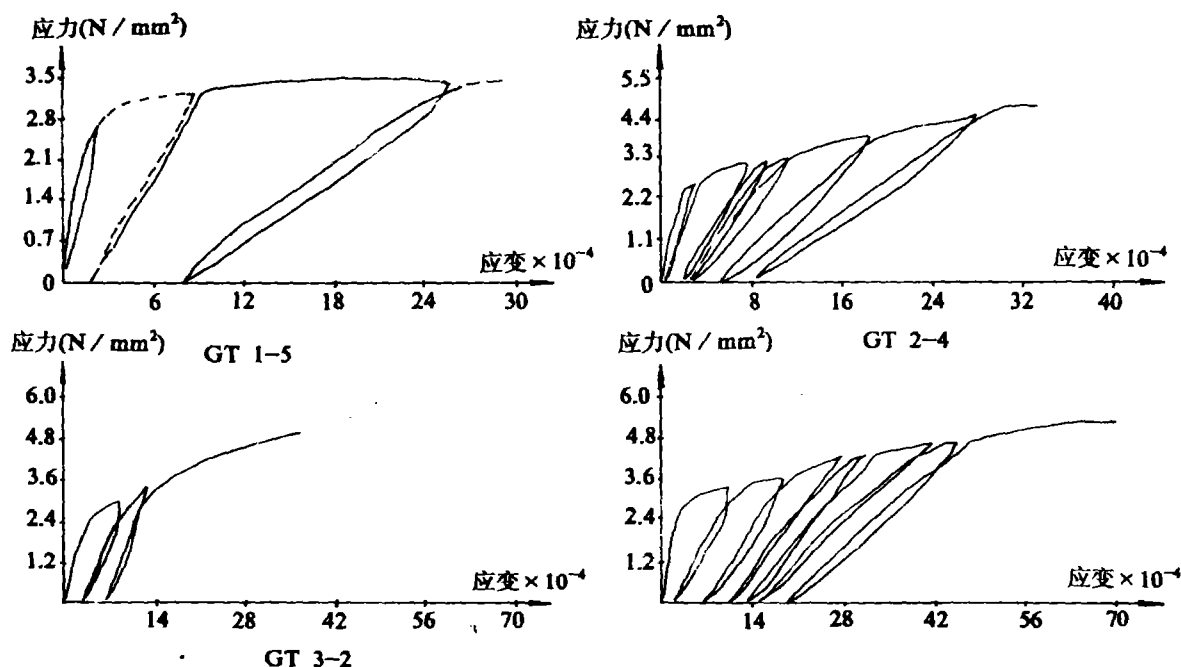


图3

产生上述现象的原因是,开裂前混凝土和玻璃纤维都处于弹性阶段,其各自的应力应变关系都接近直线。在加载后期,水泥基体虽已开裂,但玻璃纤维仍处于弹性阶段,加载线和卸载线仍近乎平行并有重合趋势。以上特点说明,即使在强化阶段,GRC的恢复性能也是很好的,这对抵抗震动和冲击作用,提高结构的延性有重要意义。

2 玻璃纤维增强混凝土井盖受力性能试验

2.1 井盖的制作及加载方式

在玻璃纤维水泥(混凝土)材料基本力学性能试验的基础上设计制做了玻璃纤维增强

混凝土井盖进行试验。试验井盖分为两种类型, 第一种为板式井盖(图4a), 第二种为壳式井盖(图4b), 两种井盖的外形尺寸和郑州市政工程管理处目前使用的井盖相同。掺入的耐碱玻纤长度 $l_f = 25 \sim 30\text{mm}$, 掺量占 GRC 体积的 2~3%, 所用水泥为 325# 矿渣水泥, 其强度及安定性均符合要求, 水灰比为 0.6。采用洁净的河砂, 每次拌和时均测定其含水率, 少数构件加入了粒径为 5~10mm 的碎石, 为增加拌料的和易性加入了占水泥用量 25% 的粉煤灰。每批井盖均取 $100 \times 100 \times 100\text{mm}$ 立方体试块 3 个, $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ 试块 3 个, 以测定材料的抗压和抗拉强度。作为对比, 有 4 个井盖用普通混凝土制做, 未掺入玻璃纤维。

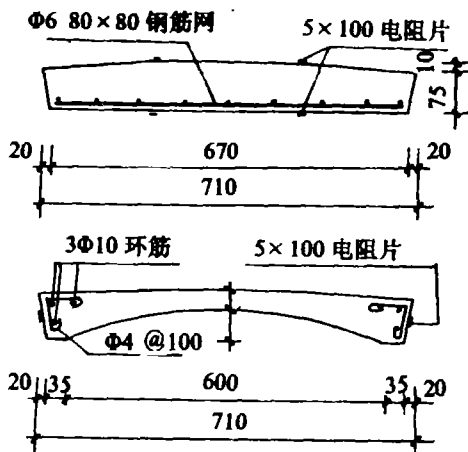


图4

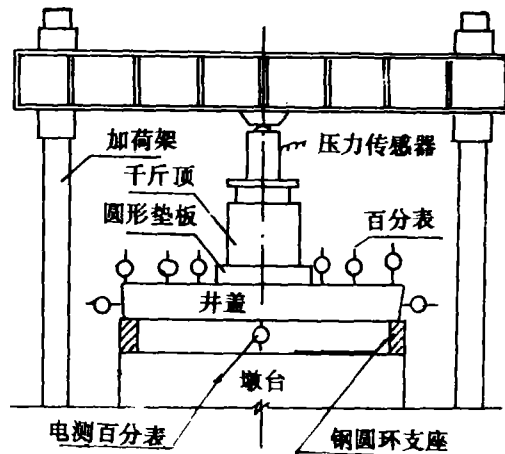


图5

根据井盖在道路上的实际受力情况, 采用图5所示的试验装置, 井盖支承在钢制的圆环形支座上, 用千斤顶通过一直径为 200mm, 厚度为 40mm 的圆形垫板将荷载加于井盖中心, 用压力传感器控制大小, 用 X-Y 函数仪自动绘制荷载——中心挠度曲线, 用百分表量测竖向和水平方向的位移, 用电阻应变仪量测井盖上下表面及环向应变。

2.2 试验结果及分析

图6为配筋相同的玻璃纤维混凝土和普通混凝土壳式井盖的荷载——挠度对比曲线。玻璃纤维混凝土井盖加荷初期的挠度较小, 荷载增至破坏荷载的 20~30% 时, 荷载——中心挠度曲线及荷载环向应变曲线出现了转折, 说明试件刚度有所减小, 材料表现出一定的塑性, 但此时构件并未出现表面裂缝。一直到荷载增加到破坏荷载的 70~80% 时, 壳边缘才出现第一条肉眼可见的裂缝, 且裂缝很细开展较慢。荷载继续增加时壳边缘相继出现第二、三、四、... 条裂缝, 裂缝条数不多, 间距较均匀, 开展也不大, 未被裂缝穿过的应变片量测的拉应变已达 1000μ 以上, 说明此时混凝土的拉应变很大, 至破坏前一级荷载, 壳的底面、顶面均未观察到裂缝。当荷载达到破坏荷载时, 出现有轻微的响声, 壳底面出现数条放射状裂缝, 垫板下的混凝土凹陷, 荷载略有下降但仍能稳定在破坏荷载的 80% 左右, 过若干小时后荷载仍能维持, 说明此时构件仍有较大的承载力。此后若继续向千斤顶内加油, 只能使挠度增加, 不能使荷载增加, 卸荷时挠度随荷载的减小而回升,

最终残余变形不大,说明掺入玻璃纤维的混凝土井盖具有较大韧性。普通混凝土壳式井盖加荷初期和玻璃纤维混凝土壳式井盖相似,但当荷载增至破坏荷载的 35% 左右时,壳边缘及底面均出现裂缝,并随着荷载的增加裂缝逐渐开展,达到破坏荷载时,圆形垫板下的混凝土突然被冲切掉,破坏突然无预兆,呈现出脆性破坏的特性。

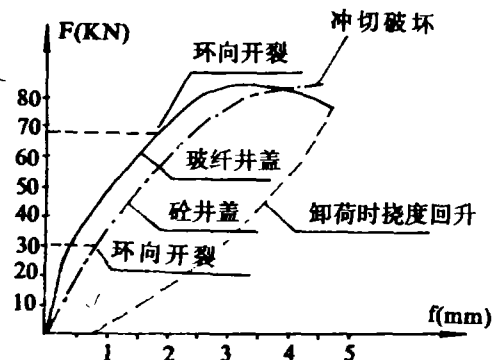


图 6

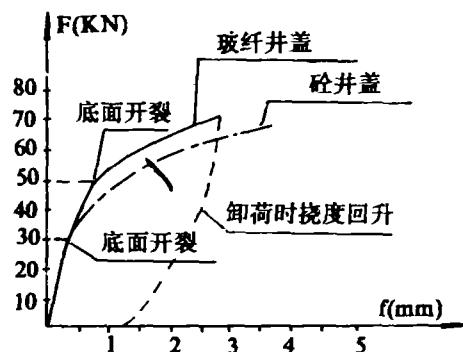


图 7

图 7 为配筋相同的玻璃纤维混凝土板式井盖和普通混凝土板式井盖的荷载—挠度对比曲线。当荷载增至破坏荷载的 50% 左右时,玻璃纤维混凝土板式井盖的板底出现第一条肉眼可见的裂缝,以后随着荷载的增加,板底相继出现多条裂缝,达到破坏荷载时板底纵筋屈服形成破坏机构,但此时卸荷后挠度仍有明显回升,保持了一定的韧性。普通混凝土板式井盖开裂较早,约为破坏荷载的 30% 左右,开裂后挠度增加较快,破坏时也形成机构,但卸荷后挠度无回升现象。

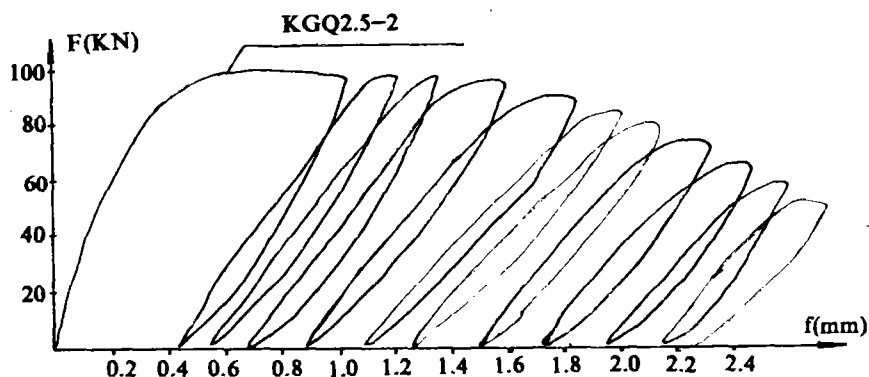


图 8

图 8 是玻璃纤维体积掺量为 2.5%、配有 $2\phi 12$ 环向钢筋的壳式井盖在单向重复荷载作用下的荷载—中心挠度曲线。从图中可见,该井盖所承受的极限荷载大大高于普通混凝土井盖,且荷载达到最大值时,能在基本保持最大荷载情况下经受较大的变形。卸荷后产生明显的回弹,再加荷时仍然能接近最大荷载,表现出较好的吸能性和延性,对承受城市道路车辆的冲击荷载是很有利的。

从 GRC 材料的基本力学性能和构件试验均可看出,掺入玻璃纤维的混凝土抗拉强度明显提高,开裂荷载明显推迟,且构件达到极限承载力后的后继变形能力较大,有较好的

吸能性和延性。从井盖的受力要求来看, 未加玻璃纤维的普通钢筋混凝土井盖在车轮的正常荷载 (约 35KN) 作用下已经开裂, 且后期变形能力小, 在车轮的反复冲击作用下很快就会破坏, 不能满足使用要求。加入玻璃纤维的钢筋混凝土板式井盖承受冲击和重复荷载作用的能力虽有提高, 但开裂荷载尚嫌偏小。加入玻璃纤维的钢筋混凝土壳式井盖在车轮正常荷载作用下不会开裂, 极限荷载也大大提高, 并具有较好的抗冲击性能。

3 玻璃纤维增强混凝土井盖道路试验结果及经济效益分析

在试验室研究的基础上, 对构件的厚度、配筋及施工工艺等进行改进, 加工了一批玻璃纤维混凝土壳式井盖, 于 1988 年 5 月放置于郑州市一些主要交通干道上直接作道路试验, 1990 年 6 月进行了现场考察, 全部完好, 考察结果见表 3。由试验室试验结果, 该批井盖的极限承载力在 95KN 以上, 这完全满足载重汽车 (如黄河 JN150) 的参数要求 (后轴载重 101.6KN, 一侧双轮载重 50.8KN)。反算冲击系数 1.87, 说明试验井盖的承载力有较大的安全储备, 符合我国“公路柔性路面设计规范”(JTJ014-86) 中 BZZ-100 重型标准的规定, 这一标准是高速公路、一级和二级公路所采用的。

表 3 井盖道路试验考察结果 (郑州市)

井盖 放置道路	交通流量状况		放置 时间	完好 情况	备 注
	折合小客车 (辆/日)	折合 BZZ-100 (次/日)			
棉纺路	4670	234	1988.5	完好	
棉纺路	4670	234	1988.5	完好	
中原路	6490	1350	1988.5	完好	
华山路	2530	430	1988.5	完好	
华山路	2530	430	1988.5	基本完好	顶部有缺边, 不影响运行

表 4 是玻璃纤维混凝土井盖、普通钢筋混凝土井盖和铸铁井盖的材料用量与价格分析对照表。可以看出玻璃纤维混凝土壳式井盖的价格大致为铸铁井盖的三分之一, 与普通钢筋混凝土板式井盖的价格相差不多, 基本上达到了价格较低又满足城市道路使用的要求, 有较明显的社会效益。

4 结论

4.1 基本力学试验表明, 水泥混凝土基材中加入适量的耐碱玻璃纤维增强后, 抗拉强度提高, 开裂后裂缝细小而间距不大, 卸荷后恢复性能较好, 改变了普通水泥材料的脆性。

4.2 试验室静载试验表明, 玻璃纤维混凝土井盖的开裂荷载明显推迟, 后期变形能力较大, 延性较大, 对承受冲击荷载和重复荷载较为有利。

4.3 长达两年多的道路试验表明, 采用合适的工艺和配比制作的玻璃纤维混凝土壳式井盖可承受城市道路各类车辆的作用, 造价低廉, 社会及经济效益均较好。

表4 单个井盖的材料与价格对比

井盖材料	玻纤混凝土井盖		原普通混凝土井盖		铸铁井盖	
	重量(kg)	价格(元)	重量(kg)	价格(元)	重量(kg)	价格(元)
混凝土	55.75	7.2	67.5	8.72		
钢 筋	4.19	7.50	6.53	11.69		
玻璃纤维	0.55	4.40				
合计	60.49	19.10	74.03	20.41	59	60

参 考 文 献

- [1] 陆建业编.纤维水泥与纤维混凝土, 中国建筑工业出版社, 1986.
- [2] 国家建材局.玻璃纤维增强水泥和混凝土, 1983.11.
- [3] 高惠宗, 龚绍熙.玻璃纤维增强水泥——钢筋混凝土组合梁正截面工作性能及抗弯承载力的研究
郑州工学院土建系, 1988.5.
- [4] 刘克己.玻璃纤维混凝土井盖试验应力分析.中南市政工程, 1987.第一期
- [5] Heriry,N.Marsh. Glass fiber reinforced cement base materials, Fiber Reinforced concrete,
sp44-54, 1974.
- [6] ACI Journal, Durability of some glass fiber reinforced cement composite,July-
August, 1983.

Experimental Research for Bearing Capacity of the GRC Lid over the Inspection shaft of City Road

Liu Lixin, Liu Keji and Gao Huizong

(Department of Civil Engineering, Zhengzhou Institute of Technology etc.)

Abstract: In this paper, the experimental results of GRC (Glass Fiber Reinforced Concrete) sample in compression and tension and the GRC Lid over the inspection shaft of city road under vertical load are given. The experimental research indicates that the GRC Lids have higher cracking resistance, strength and ductility, the GRC Lids can be satisfactorily used in the city road and have good social and economical effect.

Keywords: Glass Fiber Concrete, GRC