

文章编号:1671-6833(2006)04-0010-04

# GRC 异形内模预应力箱梁受力性能的试验研究

刘立新<sup>1</sup>, 王利平<sup>1</sup>, 于秋波<sup>1,2</sup>, 李海涛<sup>1</sup>

(1. 郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学综合设计研究院, 河南 郑州 450002)

**摘要:**通过对 12 m 跨 GRC 异形内模折线形预应力筋箱梁受力性能的试验研究,测定箱梁的最大承载力,分析箱梁在各级荷载下裂缝和挠度的发展情况,及其破坏形态和破坏特点,并将试验结果与按现行规范计算的结果进行对比.结果表明:试验梁的受力性能良好,内模与梁形成统一的受力整体共同工作,当荷载达到设计破坏荷载的 207% 时,仍未发生破坏,有足够的安全储备;按照现行桥梁设计规范进行设计可满足工程要求.GRC 薄壁筒芯是一种有发展前景的应用于小跨度桥梁的内模.

**关键词:** GRC 异形内模; 折线形预应力筋; 箱梁; 受力性能

**中图分类号:** TU 378.2 **文献标识码:** A

## 0 引言

GRC(玻璃纤维增强水泥)薄壁筒芯是一种新型内模,具有轻质、高强高韧、壁薄、成型规范、施工方便、造价低等优点.目前,在我国 GRC 薄壁筒芯广泛应用于现浇混凝土空心楼盖中作为永久性的内模,取得了良好的技术经济效果,其优越性能不断为设计单位和建设单位所接受,设计和施工技术逐渐成熟,显示了广阔的发展前景.但目前 GRC 薄壁筒芯内模在桥梁工程中的应用尚不多见,作者对采用 GRC 薄壁异形内模的 12 m 跨预应力混凝土箱梁的受力性能进行试验研究,试验结果表明异形内模能与梁形成统一整体共同工作,整体性能好,按照现行桥梁设计规范进行设计可满足工程要求,并有足够的安全储备,为 GRC 薄壁异形内模在桥梁工程中的应用提供了依据.

## 1 GRC 异形内模的特点

### 1.1 GRC 薄壁异形内模的一般要求

GRC 薄壁筒芯是以耐碱玻璃纤维作增强材,硫铝酸盐低碱度水泥为胶结材料并掺入适宜集料构成基材,在机械和模具的作用下,通过喷射、立模浇注、挤出、流浆等生产工艺而制成.内模的设计和质量好坏直接影响着梁体的制作质量和进度.内模应满足以下要求:

(1) 有足够的强度和刚度,以承受施工荷载

和顶板现浇混凝土自重.

(2) 内模应与现浇混凝土结合良好,和箱梁形成统一的受力整体.

(3) 自重轻,制作工艺简单.

(4) 内模壁应密实,外表面不得有空洞和使混凝土形成空腔的其它缺陷,保证浇注混凝土时不漏浆.

### 1.2 GRC 薄壁异形内模的优点

在箱梁的跨径小于 20 m 的情况下,箱高和箱宽都比较小,由于箱室受到空间的限制,使用传统的内模,不仅安装麻烦而且还不能拆除,明显影响了施工的进度,且不能反复利用,成本较高.目前用于箱梁的内模主要有充气胶囊、木模、钢模等<sup>[1]</sup>.其优劣性分别如下:

(1) 充气橡胶芯模作内模.充气橡胶芯模作内模,安装、拆除施工方便,成本较低.但因内模上浮问题解决难度大,而且刚度差,易变形,不能保证箱室的几何尺寸.且成孔为圆形,在桥梁板中应用较为广泛,但是不能成型为异形箱室.

(2) 木模作内模.木模作内模,拼装、安装方便,但拆除难度大,木模刚性差,易变形,不能保证箱室成型几何尺寸,且周转次数少,成本较高.内模上浮问题能采用压杠解决,但有胀肚情况.当箱室尺寸较小时,内模无法拆除,容易造成浪费,成本较高,且不能与混凝土形成统一的受力整体.

(3) 钢模作内模.钢模作内模,拼装、安装、拆

收稿日期:2006-06-23; 修订日期:2006-09-28

基金项目:河南省交通厅计划资助项目(2005P338)

作者简介:刘立新(1947-),男,湖北汉川人,郑州大学教授,博士生导师,主要从事混凝土结构、砌体结构基本理论及

除难度大,但刚性好,周转次数多,能保证箱室几何尺寸,解决了内模上浮问题,但施工成本较高.

(4) GRC 预制薄壁筒芯作内模<sup>[2]</sup>. GRC 材料具有较好的抗裂性能和较高的抗压、抗折强度,足以承受施工荷载,损坏率较低. 由于 GRC 属于水泥基材料,与浇注的混凝土粘结性能良好,箱梁浇注后不用取出,可以作为永久性内模,且质量相对较轻,容易保证质量. 此外施工时筒芯容易固定,价格低廉成本较低,同时具有便于工厂化预制、提高产品质量、提高施工速度等优点.

经过对内模几种方案进行比较分析,在小跨度箱梁中使用 GRC 薄壁筒芯作为内模,其技术经济性能明显好于其它几种内模.

2 试验概况

2.1 箱梁设计

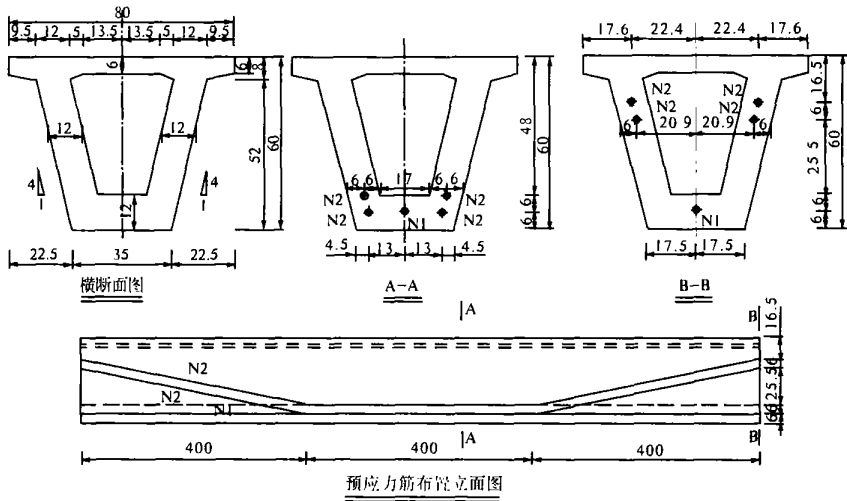


图 1 横截面及预应力布置图 (单位:cm)  
Fig.1 Cross-section and prestressing tendon arrangement plan

2.2 内模设计

试验梁采用 GRC 薄壁筒芯作为永久性内模,其规格尺寸如图 2 所示. 筒芯长度为 980 mm,壁厚 10 mm 左右,为保证内模有足够的刚度,沿长度方向设两道加筋肋.

2.3 箱梁制作

箱梁制作前在钢绞线及非预应力钢筋上均贴有电阻应变片,以量测施工和受力阶段的应变(应力). 钢绞线在自行设计的台座上张拉,采用先一端张拉锚固后,另一端补张拉的方法,张拉控制应力取  $\sigma_{con}=0.75f_{ptk}$ . 钢绞线张拉完成后支模浇注混凝土,箱梁内模采用全封闭型 GRC 薄壁筒芯

本试验箱梁钢绞线束布置如图 1 所示,共布置 5 束  $1\times 7\Phi^{15.24}$  钢绞线(4 束折线形、1 束直线形),钢绞线弹性模量  $E_p=1.95\times 10^5$  MPa,公称直径 15.24 mm,公称面积  $139\text{ mm}^2$ ,钢绞线  $f_{ptk}=1\,860$  MPa,张拉控制应力  $\sigma_{con}=0.75f_{ptk}=1\,395$  MPa. 非预应力钢筋采用 HRB335 级钢筋,梁底主筋配 7 根直径 14 mm、7 根直径 6 mm 变形钢筋,弹性模量  $E_s=2.0\times 10^5$  MPa,抗拉强度设计值  $f_y=300$  MPa. 设计混凝土强度等级为 C50,而实测混凝土强度等级为 C60,故按 C60 计算;容重取  $25\text{ kN/m}^3$ ,弹性模量  $E_c=3.60\times 10^4$  MPa,抗压强度设计值  $f_c=27.5$  MPa,抗拉强度设计值  $f_t=2.04$  MPa.

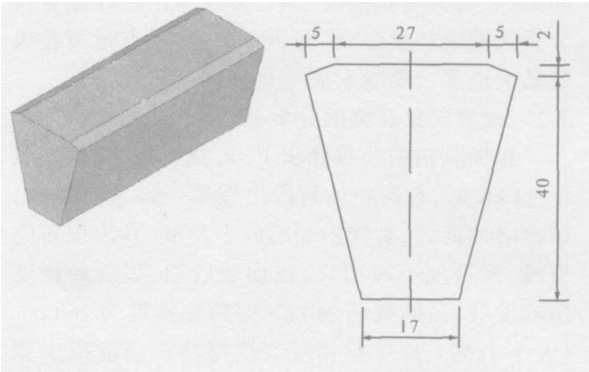


图 2 GRC 内模及其断面图 (单位:cm)  
Fig.2 GRC internal mold and cross-section

(箱梁浇注后不再取出,作为永久性内模).由于箱梁较低、腹板薄,浇注时采用和易性、流动性较高的混凝土配设插入式震动棒作业,先施工底板的混凝土,待混凝土高出内模位置 10 mm(以确保底板密实),再放入 GRC 薄壁筒芯,浇注两腹板的混凝土,施工完腹板混凝土后,放上顶板钢筋网片,

最后浇注顶板混凝土.混凝土浇注完成后覆盖塑料布并洒水养护.

当混凝土强度达到设计要求后,在混凝土表面贴电阻应变片,以量测混凝土的应变.钢绞线的放张采用千斤顶退锚放张的方法,千斤顶退锚后用切割机将试验梁外露的钢绞线切断.

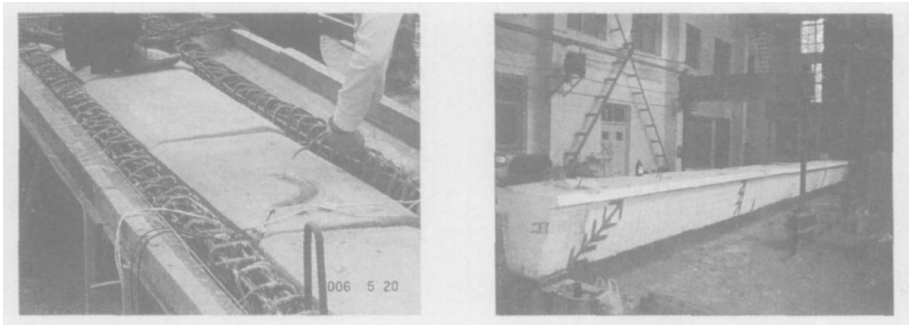


图 3 箱梁图

Fig.3 Box beam pictures

3 试验结果及受力性能分析

3.1 加载方案

试验采用三分点加载方案,通过液压千斤顶施加荷载,采用 CM-2B 静态电阻应变仪配合压力传感器控制加载,对箱梁进行了竖向荷载作用下受力性能的试验.试验采用分级加载制度,预加载至破坏荷载的 20%卸载,正式加载时在临近开裂荷载、屈曲荷载及破坏荷载时,减小级差,以保证测量数据的准确性.

试验检验了梁在正常使用荷载下的变形和开裂性能,测定梁的最大承载力,记录各级荷载下预应力筋、非预应力钢筋和混凝土的应变,测定裂缝间距、裂缝宽度和挠度(用百分表和位移计测定),分析梁的破坏形态.根据研究需要,重点量测各级荷载下挠度及裂缝发展变化情况.

3.2 试验现象及结果分析

在加载初期荷载稳步上升,挠度很小.当加载至 90 kN 时,在跨中纯弯段出现第一条垂直裂缝,继续增加荷载,裂缝不断的向上发展,并出现新的裂缝,且挠度不断增长.在加载后期,裂缝和挠度急剧发展,当加载至 240 kN 时跨中挠度为 260 mm(大于  $l/50$ ),跨中梁顶仅表皮薄薄一层混凝土剥落,梁仍未发生破坏,表现出极好的延性.此时荷载远大于梁的极限承载力,因此停止加载,卸载后跨中仍有 130 mm 的残余挠度值.由于受到折线形预应力筋的作用,加载期间梁弯剪段未出现斜裂

缝,仅出现一些垂直裂缝.结合该梁数据,对梁进行受弯承载力计算<sup>[3~5]</sup>(由于梁自重较大,在跨中产生的弯矩为 94.41 kN·m,不可忽略),得到梁的开裂荷载、极限荷载,以及挠度、裂缝与荷载的关系式.试验值与公式值的比较分别列于表 1、图 4 及图 5.

表 1 承载力公式计算值与试验值的比较

Tab. 1 Comparison between theoretical values and experimental results of bearing capacity

项目	开裂弯矩 /(kN·m)	开裂荷载 /kN	极限弯矩 /(kN·m)	极限荷载 /kN
计算值	267.79	43.35	558.83	116
试验值	454.41	90.00	>1 054.41	>240
试验值/计算值	1.70	2.08	>1.89	>2.07

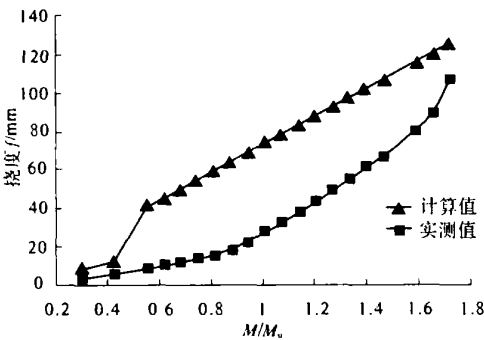


图 4 荷载挠度曲线

Fig.4 Load-deflection curve

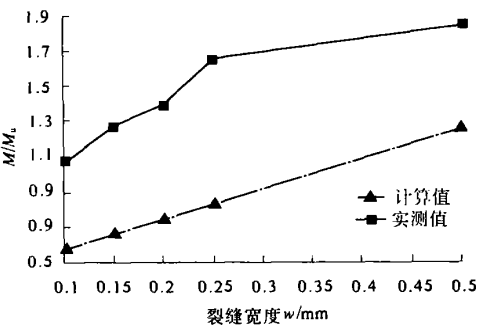


图 5 荷载裂缝宽度曲线  
Fig. 5 Load-crack curve

4 结论

(1) 试验梁在正常使用荷载作用下的抗裂性能及竖向挠度均能满足要求, 开裂荷载为极限荷载的 77%.

(2) 试验梁在超过正常使用荷载后裂缝发展均匀、裂缝宽度一直较小, 当荷载为 171 kN 时 (145%极限荷载), 最大裂缝宽度仅为 0.2 mm; 由于折线形预应力筋的应用, 在试验梁弯剪段未出现斜裂缝, 仅出现一些垂直裂缝, 且裂缝宽度也一直很小. 实测裂缝宽度都比相应荷载下的计算宽度小.

(3) 试验梁有足够的承载力安全储备, 在达到设计破坏荷载 207% 仍未发生破坏; 此时跨中挠度超过  $l/50$ , 表现出较好的延性; 接近破坏时受压区混凝土未被压碎, 仅梁顶表皮薄薄一层混凝土剥落, 钢绞线和非预应力钢筋均未发生断裂.

(4) 试验结果表明, GRC 异形内模折线形预应力筋混凝土箱梁的受力性能良好, 内模与梁结合良好, 形成统一的受力整体共同工作, 按照现行桥梁设计规范进行设计可满足工程要求, 并有足够的储备. GRC 薄壁筒芯是一种有发展前景的用于小跨度桥梁中的内模.

参考文献:

[1] 王 维, 李战荣. 预制箱梁内模的设计及应用[J]. 山西交通科技, 2002, (S1): 79~80.

[2] 刘立新, 黄安刚. GRC 薄壁筒芯在现浇混凝土空心楼盖中的应用[A]. 中国工程建设标准化协会混凝土结构专业委员会. 全国现浇混凝土空心楼盖结构技术交流会议论文集[C]. 上海, 同济大学出版社, 2005. 339~342 .

[3] GB50010—2002, 混凝土结构设计规范[S].

[4] 范立础, 徐光辉. 桥梁工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003. 300~308.

[5] 陶学康. 后张预应力混凝土设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996. 24~60.

Experimental Study on Stress Property of Box Beam Using GRC Abnormity Internal Mold

LIU Li-xin<sup>1</sup>, WANG Li-ping<sup>1</sup>, YU Qiu-bo<sup>1,2</sup>, LI Hai-tao<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Zhengzhou University Multifunctional Design and Research Academy, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Based on stress property experimental study of box beam, in which GRC abnormity internal molds are used, ultimate bearing capacity of box beam is determined, the development of crack and deflection is measured under each load step, failure form and characteristic is analyzed, and the results of the experiment are compared with the calculation results according to the present code. The experimental results show that stress property of the beam is good, internal mold and beam work together as a whole body. The beam doesn't fail when the load reaches 207% of design failure load, and it is safe enough. It can satisfy project requirements by the current code for design of bridge structures. The GRC tube filler used as internal mold has prospect in small span bridge.

**Keywords:** GRC abnormity internal mold; fold line shape prestressed reinforced bars; box beam; stress property