

## 植生型再生砖瓦混凝土制备与试验

翟家欢<sup>1</sup>,王成名<sup>2</sup>

1. 泰山基业开发建设有限公司, 山东 泰安 271018
2. 山东农业大学水利土木工程学院, 山东 泰安 271018

**摘要:** 本文研究了利用再生砖瓦骨料配制植生型混凝土的配合比、制备工艺、降碱技术、植生土施工、植物的种植等技术。利用 16~20 mm 的再生砖骨料, 制备出了水灰比为 0.29、灰骨比为 0.36、强度 6.8 MPa、孔隙率为 30%、pH 值 10 以下、厚度为 10 mm 的混凝土。实验结果表明: 植生草可以穿透混凝土层, 并在室外环境下生长良好。

**关键词:** 再生骨料; 植生型再生砖瓦混凝土; 制备工艺

**中图分类号:** TU378.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2016)02-0286-06

## Preparation of Plant-growing Concrete with Recycled Rubble and Planting Test

ZHAI Jia-huan<sup>1</sup>, WANG Cheng-ming<sup>2</sup>

1. Taishan Jiye Development Construction Ltd. Co., Taian 271018, China

2. College of Water Conservancy and Civil Engineering/Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

**Abstract:** This paper studied the preparation technology for plant-growing concrete with recycled rubble, including the proportion, process, alkali reduction, planting test, etc. to prepare by 16~20 mm rubble the cultivating soil with water cement ratio 0.29, cement-aggregate ratio 0.36, strength 6.8 MPa, porosity 30%, pH 10 and thickness 10 mm. The results showed that planting grass was able to readily penetrate the planting soil with rubble and grew well outdoor.

**Keywords:** Recycle aggregate; plant-growing concrete with recycled rubble; preparation technology

我国作为世界上最大的发展中国家, 经济发展迅速。近年来, 每年消耗大量的水泥用于国家基础设施建设和工业民用建筑, 然而也产生大量的建筑垃圾和废弃混凝土, 对生态环境造成严重影响。在创建生态、环保社会的大背景下, 如何充分利用废弃混凝土, 尽可能减少一次资源的消耗, 受到社会各界高度关注。利用废弃砖瓦再生骨料具有一定强度、孔隙率大、吸水率较高的特点, 研究将其资源化利用, 制备透水性能优良、强度满足基本使用要求、植物能够直接在其中生长的再生砖瓦混凝土将是解决这一问题的一种可行方法, 为其生态应用提供必要的基础性研究资料。植生型再生砖瓦混凝土是指以一定孔径、一定孔隙率的多孔混凝土为骨架, 在多孔混凝土孔隙内填充植物生长所需的物质, 植物根系生长于孔隙内或穿透多孔混凝土层生长于土壤中的一类混凝土或混凝土制品。植生型再生砖瓦混凝土可应用于护岸、护坡等, 不仅增加了城市绿化面积, 还保护了生态环境。

本文利用废弃砖瓦再生骨料, 研究植生型生态再生砖瓦混凝土的制备和植生性能试验, 为植生型再生砖瓦混凝土的工程应用提供参考。

### 1 植生型再生砖瓦混凝土的制备

#### 1.1 原材料

1.1.1 水泥 泰安鲁润水泥制造有限公司生产 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥, 比表面积 362 m<sup>2</sup>/kg, 28 d 抗压强度 52.4 MPa。

1.1.2 碎砖 建筑用废弃砖瓦, 经过两次破碎筛选符合试验需要的砖块, 所需骨料粒径为 16~20 mm。

1.1.3 拌合水 山东省泰安市普通自来水。

#### 1.2 再生砖瓦骨料的处理

1.2.1 再生砖骨料的破碎与筛选 试验选用建筑工地临时用房拆除后的废弃砖瓦, 经人工破碎、筛分、清洗出粒径值为 16~20 mm 的骨料, 用水冲洗的主要目的是去除表面附着的尘土及杂质(图 1、2)。

**收稿日期:** 2014-08-05

**修回日期:** 2015-03-30

**基金项目:** 山东省科技发展计划项目(2013GNC11402)

**作者简介:** 翟家欢(1986-),男,助理工程师,主要从事工程设计与管理工。E-mail:zhaial@sdau.edu.cn

1.2.2 骨料挂浆 根据多孔混凝土的配合比设计及搅拌目的要求,新拌多孔混凝土应是特定稠度的、充分搅拌的胶结浆体均匀包裹而成。为此,采用二次裹浆法进行植生型再生砖瓦骨料混凝土的拌制,即先将一定量的砖骨料跟水泥、水等搅拌均匀,使骨料表面包裹一层薄薄的水泥浆体。经晾干后再次用一定量的水、水泥将骨料包裹。如图 3 所示为裹浆法的搅拌过程。图 4 所示二次裹浆法搅拌的植生型再生砖瓦骨料混凝土表面具有金属光泽,胶结浆体均匀,粘结性好,稳定的包裹着骨料表面。

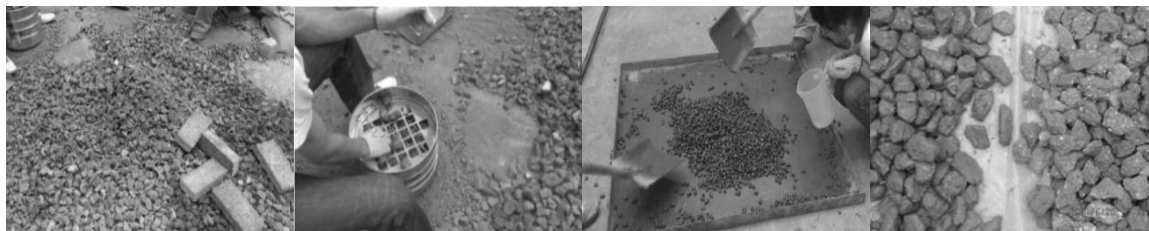


图 1 人工破碎废弃砖块  
Fig.1 Waste bricks crushed  
by men

图 2 人工筛选骨料  
Fig.2 Artificial screening  
aggregate

图 3 二次裹浆法搅拌过程  
Fig.3 The mixing process of  
two times of slurry

图 4 二次裹浆法处理与未处理对比  
Fig.4 The comparison with and  
without the treatment

### 1.3 配合比设计

1.3.1 原材料的物理性能测定 按照标准 JGJ535《普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法》测定碎石集料的表观密度和紧密堆积密度见表 1; 参照砂浆密度测定方法测定水泥净浆密度, 见表 2。

表 1 再生骨料的物理力学性能

Table 1 Physical and mechanical properties of recycled brick aggregate

骨料级配/mm	含水率/%	吸水率/%	紧密堆积密度/(kg/)	表观密度/(kg/)
Proportion of aggregate	Moisture content	Absorption rate	Dense packing density	Apparent density
16~20	2.15	14.13	1077	2295

表 2 胶结材料净浆密度

Table 2 Net pulp density of cementing material

胶结材料	Cementing material	净浆密度	Net pulp density
水泥		2124	

1.3.2 最佳水灰比 建筑垃圾骨料由于来源、生产方法等因素的影响,其物理力学性能均有很大的差异,因此每一种再生粗骨料配制的植生型再生混凝土的最佳水灰比和灰骨比是不同的,只有在最佳水灰比和灰骨比时,植生型再生砖瓦骨料混凝土才达到设计要求的孔隙率与强度。

植生型再生砖瓦骨料混凝土的制备的关键是胶结材流动度试验,此实验的本质是观测胶结材流动性和粘聚性。而胶结材的流动性和粘聚性是矛盾的,若水灰比过小,多孔混凝土会因干硬而无法搅拌均匀,胶结材料不能完全包裹集料表面,影响集料间的粘结,从而影响多孔混凝土的强度;反之,若水灰比过大,胶结材料容易发生离析,形成致密的水泥浆层,可能堵死多孔混凝土中的部分孔隙,不仅影响孔隙的连通,也不利于强度的提高<sup>[1,2]</sup>。

文献表明,透水性混凝土的最佳水灰比为 0.25~0.35<sup>[3]</sup>。本文设计孔隙率为 30%,水灰比在 0.29~0.33 之间可以保证水泥砂浆具有一定的粘聚性和流动性,试块底部没有沉浆现象,孔隙无堵塞。最终确定在水灰比为 0.29 时,植生型混凝土拌合物粘结性好,有金属光泽,属于最佳状态。

表 3 试验因素水平

Table 3 Level of experimental factors

序号	再生骨料粒径/mm	孔隙率/%	水灰比	灰骨比
NO.	Size diameter of recycled aggregate	Porosity	Water cement ratio	Gray bone ratio
1	16~20	30	0.29	0.36
2	16~20	30	0.30	0.37
3	16~20	30	0.31	0.38
4	16~20	30	0.32	0.40
5	16~20	30	0.33	0.41

**表 4 最佳水灰比、灰骨比时混凝土物理力学性能测试结果**  
**Table 4 Mechanical performance test results under the optimum mix ratio**

孔隙率/% Porosity	水灰比 Water cement ratio	灰骨比 Gray bone ratio	抗压强度/MPa Compressive strength	实际孔隙率/% Actual porosity
30	0.29	0.36	6.8	28.3

由表 4 可看出骨料粒径为 16~20 mm 的再生砖骨料,在不用掺合料情况下,最佳水灰比为 0.29,最佳灰骨比为 0.36,植生型再生混凝土的强度及孔隙率符合设计要求。

1.3.3 配合比计算 因再生砖骨料吸水率大,根据饱和和骨料体积法计算配合比,体积法的原理可概括为在搅拌混凝土前将再生砖骨料充分吸水,达到饱和状态,胶结材料将紧密堆积的粗集料均匀地包裹粘结在一起,凝固硬化后形成的空隙空间即为目标设计空隙。即粗骨料体积+胶结材料浆体体积+目标空隙体积=1。确定了要求孔隙率在 30%,水灰比为 0.29 的多孔混凝土配合比,如表 5 所示

**表 5 植生型再生砖瓦混凝土配合比**  
**Table 5 The mix proportion of plant-growing concrete with recycled rubble**

原材料 Raw material	用量 Amount
水泥(g)	386.1
粗骨料(g)	1055.3
水(g)	112.0

### 1.4 搅拌工艺

植生型再生砖瓦混凝土,由于水泥浆体的数量较少,采用传统的一次加料进行搅拌的方法无法使水泥浆体把骨料完全包裹,使得骨料之间的粘结性降低,不利于强度的提高。本文经过大量试验,采用分次给料,分次搅拌的工序得到的混凝土粘结性好,有金属光泽,胶结材料能包裹在骨料的表面,不仅提高了植生型再生砖瓦骨料混凝土的粘结性,还提高了混凝土的连通孔隙率和强度(图 5)。



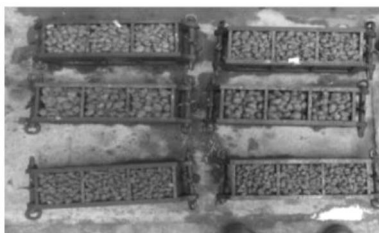
**图 5 植生型再生砖瓦混凝土的搅拌工序**  
**Fig.5 The mixing process of plant-growing concrete with recycled rubble**

### 1.5 试件成型

本试验试块尺寸为 100×100×100 mm 立方体,采用插捣密实的方法,分三层依次装入模具进行插捣密实,第一层插捣均匀后,再倒入第二层插捣,依次进行。采用三层插捣密实法成型的多孔混凝土密实度高,成型效果好,水泥浆体能充分包裹骨料,保证了多孔混凝土的强度和成孔效果(图 6)。

### 1.6 养护工艺

采用标准养护的方法,试件成型后,连同模具一起放入标养室,由于植生型再生砖瓦混凝土早期强度很低,在试块成型后隔天拆模比较适宜。如还按照普通混凝土第二天拆模则极易造成多孔混凝土试块边角骨料的脱落。试块拆模后继续移入标养室进行标准养护至所需龄期(图 7、图 8)。



**图 6 混凝土的成型效果**  
**Fig.6 The forming effect of concrete**



**图 7 制备成功的多孔混凝土侧面图**  
**Fig.7 The lateral view of prepared porous concrete**



**图 8 制备成功的多孔混凝土的底部图**  
**Fig.8 The bottom diagram of prepared porous concrete**

通过图 7、图 8 可知,制备成功的多孔混凝土的孔隙率和底部的连通率符合试验要求。

## 2 降碱技术

土壤的 pH 值一般在 3.5~9.5 之间,而混凝土孔隙内的 pH 值很高,在 12~13 之间,其主要原因是混凝土成型后水泥水化产生的晶体呈碱性。显然,这么高的 pH 值无法满足植物的生长,因此在进行植生试验前,必须对混凝土孔隙内的碱环境进行改善。

## 2.1 降碱原则

植生型再生砖瓦混凝土因水泥水化产生的晶体,使得孔隙内的碱性很强,要想能使植物生长,就必须降低混凝土孔隙内的碱性,但在降低的同时还需遵循以下原则:

(1) 不能影响混凝土的强度。植生型再生砖瓦混凝土是植被生长的骨架,也是结构整体强度的根源,若在降低碱性的同时影响了强度,则会使混凝土的力学性能和耐久性受影响。

(2) 满足植物生长条件。植物要想生长,就必须使混凝土孔隙内的碱性降低到植物生长的适宜范围,否则植物不能正常生长。

## 2.2 降碱措施

很多学者已经在降碱方面取得了一定的成果。聂丽华通过改变轻质混凝土中轻骨料的组成类型利用正交试验得出通过增加珍珠岩的量能有效地减小混凝土的 pH 值<sup>[4]</sup>;奚新国通过在胶结材料中添加各种添加剂,得出掺入 65%~70%的粉煤灰,多孔混凝土 28 d 的 pH 值可降至 11.50 以下,90 d 的 pH 值甚至可降至 9.00~10.5<sup>[5]</sup>;胡春明通过对生态混凝土采用蜡封处理后,有效的抑制了生态混凝土孔隙内的碱性物质向外界释放,孔隙内水环境 pH 值降低了 0.5~1,满足植生性的需要<sup>[6]</sup>;孙道胜采用溶液对多孔混凝土进行降碱处理,并将种子和营养土填入多孔混凝土孔隙中,植物能在孔隙内发芽和生长<sup>[7]</sup>。

文献表明,在 28 °C 气温下,硅酸盐水泥中的碱有 86%~97% 释放出来,其中有 45%~85% 是在前几个小时内释放出来的。在经过较长的时间曝晒后,硅酸盐水泥硬化浆体中仅保留 15% 的碱<sup>[8]</sup>。本文采用溶液的方法对混凝土孔隙内的碱性环境改造,观察混凝土的 pH 值是否能满足植物生长。

## 2.3 降碱试验方案

2.3.1 制备试块 试验选用两组 A、B,每组各三个试块,按按配比成型 100 mm×100 mm×100 mm 尺寸立方体试块,在标准条件进行养护。设计 1 d、3 d、7 d、14 d、28 d 共五个龄期进行内部空隙中 pH 值的测定,具体方案见表 6。

表 6 内部空隙 pH 值测试试验方案  
Table 6 Test scheme for pH of internal voids

组别 Group	水灰比 Water cement ratio	空隙率(%) Void rate	试件尺寸(mm) Specimen size	测试龄期(d) Test age
A1~3	0.29	30	100×100×100	1、3、7、14、28
B1~3	0.29	30	100×100×100	1、3、7、14、28

2.3.2 试块处理 同时对 A 组、B 组的试块进行标准养护,按照试验的龄期进行 pH 值测试;养护 A 组的三个试块分别用清水浸泡 12 h 后测出 pH 值;用溶液对养护 7 d 的 B1、14 d 的 B2、28 d 的 B3 试块分别进行浸泡 12 h,分别测出 pH 值。

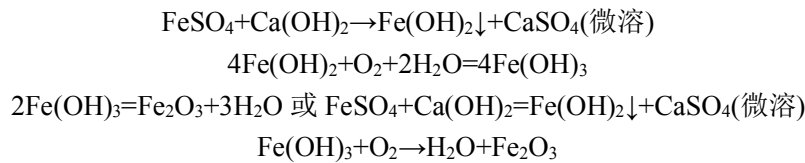
2.3.3 pH 值测定方法 将到规定龄期的试件从标养室从取出进行破碎,充分研磨,过筛(0.08 mm 方孔筛),称取 10 g,然后加入到 10 倍质量的蒸馏水瓶中,用橡皮塞塞紧以防碳化,每隔约 5 min 摇动均匀一次,2 h 后使用酸度计测定 pH 值。

2.3.4 试验结果及分析 对两组植生型再生砖瓦混凝土进行了 pH 值的测定,结果如表 7 所示

表 7 内部空隙 pH 值及强度测试结果  
Table 7 The pH and strength of internal void in test

组别 Group	pH 值					强度 Strength
	1 d	3 d	7 d	14 d	28 d	28 d
A1	12.4	12.3	11.8	11.4	10.2	6.68
A2	12.3	12.2	11.7	11.6	10.3	7.32
A3	12.3	12.3	11.9	11.8	10.5	7.43
B1	12.5	12.1	10.9	10.2	9.4	6.72
B2	12.2	12.2	11.6	10.1	9.8	6.48
B3	12.5	12.3	11.8	11.6	9.2	6.97

从表 7 中看出用清水浸泡处理的植生型再生砖瓦混凝土孔隙内的 pH 值保持在 12~10 左右。经过用溶液处理后,植生型再生砖瓦混凝土孔隙内的碱性降低比较明显,对强度没有明显影响。28 d 后处理时的降碱效果最好,满足了植物的生长要求。充分验证了下列反应:



从反应的过程可以看出,碱性物质被消耗,最终生成了中性的物质,因此,pH 值可被降低<sup>[7]</sup>。同时也证明了用溶液处理植生型再生砖瓦骨料混凝土,降碱是可行的。

### 3 植生型再生砖瓦混凝土植生试验

#### 3.1 植生土的选择

植生土的主要成分包括:(1)有机质和腐殖质;(2)保水材料(3)碱度中和、缓冲材;(4)长效肥;(5)防水冲刷的粘结剂(6)杀虫和其他组分<sup>[10]</sup>。

根据实践经验,选择山东农业大学南校区泰安花卉市场出售的种植土和天然土壤按比例混合均匀,再掺加保水成分、酸度中和剂、长效肥和杀虫剂即可。

#### 3.2 植生土的填充

试验采用灌浆法进行植生土的填充施工。灌浆法是将植生土拌和均匀后用水及适量减水剂调制成浆体,将浆体填充于混凝土孔隙中。由于浆体失水后会收缩,为了达到更好的填充效果,可多次灌浆。如图 9、图 10 所示为植生土的灌注后的状态。试件尺寸 250 mm×150 mm×100 mm。

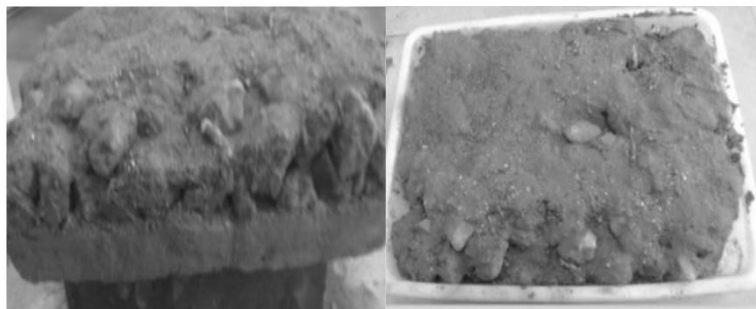


图 9 混凝土灌注后的侧面图

图 10 混凝土灌注后的状态

Fig.9 The lateral view after pouring concrete Fig.10 The state after filling concrete

注:试块骨料的颜色呈现了红棕色是因为用溶液浸泡的缘故。

Note: The color was red brown in sample block because of the soak in the solution.

#### 3.3 植物的选择

根据本地的气候和土壤条件(pH 值、水分、土壤性质等)选择植物茎挺拔、穿透能力强、耐寒、耐旱、耐践踏、耐修剪的植物物种。对泰安当地实际情况考虑,本试验选择早熟禾进行植物种植试验。早熟禾为多年生,具有伸展能力较强的根茎,生活周期长、适应环境的能力强,再生力强,广泛适用于寒冷潮湿带和过渡带<sup>[9]</sup>。

#### 3.4 植物的种植

在经过多孔混凝土浇筑、孔隙降碱、植生土填充等工艺后,将早熟禾草种均匀播撒在植生土上,并用同样组成的植生土覆盖、洒水即可。

#### 3.5 养护措施

种植完成到种子发芽这段时间非常重要,因此进行养护管理是必要的。养护期间植物对水需求量很大,要注意洒水。一般水分不易过多,每次浇水应浇透;本文种植试验是用喷壶向叶面洒水,每天早晚两次,并随时观察植物的生长发育状况。同时也要注意保温,若夜间温度很低,可以用塑

料薄膜覆盖。根据种子发芽状况,及时对植物施肥,同时还要防治植物病虫害,保证其正常生长。

植物种植 10 d 左右开始发芽,20 d 基本成苗,这阶段尤其要注意防旱、防虫害以及养料的供应。由于幼苗根系尚不发达,无法从植生土中吸引大量养料,所以要施加液态营养肥料,以促进幼苗根系生长,使其根系深入植生土及混凝土孔隙内,以保证自然生长。

### 3.6 种植试验结果与分析

图 11、图 12 反映了植物在植生型再生砖瓦骨料混凝土中的生长情况。试件置于户外,半个月时,大部分种子都能正常的发芽,幼苗发育良好,叶片呈鲜绿色。一个月时,植被生长良好,植株高度达到 5~15 cm,植被覆盖植生型混凝土的表面,达到了预期的绿化效果。

图 13 反映了植物根系在植生型再生砖瓦混凝土孔隙中的发展情况。图中植生型混凝土的厚度为 10 cm,被面层的厚度约 0.5 cm~1 cm。植物生长 2 个月后,根系穿过了植生型再生砖瓦骨料混凝土层,同时根系生长比较茂盛,扎根于土壤中继续发展,这对水土保持和强度的提高非常有利。



图 11 植物生长半个月状况

图 12 植物生长一个月状况

图 13 植物根系发展情况

Fig.11 Status of growth for half a month

Fig.12 Status of growth for a month

Fig.13 Development of roots

## 4 结论

(1) 由于再生砖骨料吸水率大,可用饱和骨料体积法设计植生型再生砖瓦混凝土配合比;用二次裹浆法处理植生型再生砖瓦骨料,工作性能良好。

(2) 通过优化配合比,采用分次给料、分次搅拌的搅拌工艺以及分层插捣密实的成型工艺,最终得到水灰比为 0.29、孔隙率为 30%、实际抗压强度为 6.8 MPa 的植生型再生砖瓦混凝土,工作性能最佳。

(3) 采用降碱技术可使植生型再生砖瓦骨料混凝土孔隙内 pH 降低,满足了植物生长的要求。

(4) 选择花卉市场市售营养土和校园内土壤按比例混均再掺加保水成分、缓释肥和杀虫剂等配制植生土,用灌浆法将植生土灌注于植生型再生砖瓦骨料混凝土内是一种比较好的植生方法。

(5) 通过植生试验,获得了比较理想的绿化效果,证明试验方案是有效可行的。

### 参考文献

- [1] 李天鹏,张彩文.水泥组成对胶砂流动度经时损失的影响[J].河北理工学院学报,2003,25(4):120-128
- [2] 高建明,森野奎二.聚合物改性硅灰水泥砂浆性能的实验研究[J].混凝土与水泥制品,2000(5):8-10
- [3] 刘 兰,马瑞强.透水性水泥混凝土的研制[J].新型建筑材料,2007,34(10):16-19
- [4] 聂丽华,冯辉荣,蒋晓峰,等.轻质绿化混凝土 pH 值优化的正交试验研究[J].上海大学学报:自然科学版,2006,12(6):656-660
- [5] 奚新国,倪亚茹,许仲梓,等.低碱度生态混凝土的初步研究[J].新型建筑材料,2003(3):40-42
- [6] 胡春明,胡勇有,魏清伟,等.植生型生态混凝土孔隙碱性水环境改善的研究[J].混凝土与水泥制品,2006(3):8-10
- [7] 孙道胜,胡普华,段加超,等.无砂大孔绿化混凝土制备的初步研究[J].安徽建筑工业学院学报:自然科学版,2004,12(1):35-39
- [8] 袁润章.胶凝材料学[M].第二版.武汉:武汉理工大学出版社,1996
- [9] 杨久俊,闫 亮,韩静宜.植生性再生混凝土的制备及研究[J].混凝土,2009(9):119-122
- [10] 王桂玲,王龙志,张海霞,等.植生混凝土施工技术研究[J].混凝土,2013(5):151-153