

## 开口比变化对人工鱼礁流场效应影响的评价

马菽洋, 张瑞瑾\*, 席彦彬, 徐佳诺 (大连海洋大学海洋科技与环境学院, 辽宁大连 116023)

**摘要** 针对人工鱼礁周围复杂的流场效应进行的研究已经较为成熟,然而对于不同开口比的人工鱼礁对流场效应影响的系统评价并未提出。针对一组不同开口比的人工鱼礁进行数值模拟,提出关于人工鱼礁流场效应影响的评价体系,并对不同开口比的人工鱼礁的流场效应进行全面评价。评价结果认为开口单体人工鱼礁优于不开口的实心鱼礁,但开口不应过大,在单孔鱼礁情形下,开口比为0.04时流场效应最优。

**关键词** 人工鱼礁;开口比;流场效应;评价

**中图分类号** S953.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)05-0105-04

## Evaluation on Effect of Artificial Reef Opening Rate on Flow Field Effects

MA Qiao-feng, ZHANG Rui-jin, XI Yan-bin et al (College of Marine Science and Environment, Dalian Ocean University, Dalian, Liaoning 116023)

**Abstract** The research on complex flow field effect around artificial reef is mature, however, the evaluation of effect of artificial reef with different opening rates on convective field effects was not proposed. Numerical simulation of artificial reef specimens for a set of different openings was carried out, the evaluation system of effect of artificial reef flow field effect was put forward, and the flow field effect of numerical simulation results was evaluated comprehensively. It showed that the opening artificial reef was superior to the non-opening reef, and the opening should not be too large. In the case of single-aperture artificial reef, the flow field effect was optimal when the opening ratio was 0.04.

**Key words** Artificial reef; Open ratio; Flow field effect; Evaluation

人工鱼礁是人们在海中经过科学选点而设置的水中构筑物,可起到改善海域生态环境,为鱼类等水生生物的聚集、索饵、繁殖、生长、避敌等提供必要、安全的栖息场所,以达到保护渔业资源和提高渔获量的目的<sup>[1-2]</sup>。产生这样效果的原因是人工鱼礁的放置,会改变原有海域的流场,如产生上升流和背涡流,进而促进上下层水体的交换,加快海底营养物质的循环,提高海域生产力水平,养护渔业资源<sup>[3]</sup>。对于不同开口比的人工鱼礁,其周围流场效应会有一些的差异<sup>[4-5]</sup>。对于人工鱼礁的研究除了现场生物量调查外,多是针对人工鱼礁周围流场效应进行的水槽、风洞试验或数值模拟试验<sup>[4,6]</sup>。不同鱼礁形状的改变到底对周围流场会产生多大的影响;同一类型的开口鱼礁,多大的开口比对流场的影响更好等这些问题,除了讨论上升流和背涡流2个因素外,还缺乏一个完整的评价体系。该研究旨在立足数值模拟结果对人工鱼礁不同开口比情况下的流场效应产生的影响进行模糊评价,从而建立初步的人工鱼礁流场效应评价体系。

## 1 数值模拟

## 1.1 控制方程

(1)连续性方程:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

(2)动量守恒方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \vec{u}) &= \text{div}(\mu \text{grad} u) - \frac{\partial p}{\partial x} + S_u \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \vec{u}) &= \text{div}(\mu \text{grad} v) - \frac{\partial p}{\partial y} + S_v \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \vec{u}) = \text{div}(\mu \text{grad} w) - \frac{\partial p}{\partial z} + S_w$$

式(1)(2)中  $u, v$  和  $w$  分别为  $x, y$  和  $z$  方向速度的分量,  $t$  是时间,  $\rho$  是密度,  $\vec{u}$  是速度矢量,  $\mu$  是动力粘度,  $p$  是压力,  $\text{div}$  是散度,  $\text{grad}$  是梯度,  $S_u, S_v$  和  $S_w$  是动量守恒方程的广义源项。

(3)能量方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u T)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v T)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w T)}{\partial z} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{k}{c_p} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{k}{c_p} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{k}{c_p} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + S_T \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中,  $c_p$  为比热容,  $T$  为温度,  $k$  为流体的热传导系数,  $S_T$  为粘性耗散项。需要注意的是虽然能量方程是流体流动与传热问题的基本控制方程,但对于不可压流动,若热交换量很小以致可以忽略时,可以不考虑能量守恒方程。

**1.2 选用方法与初始条件** 数值模拟部分以不同开口比的人工鱼礁为研究对象,采用计算流体力学软件 FLUENT,对鱼礁周围的流场效应进行研究。选取  $k-\varepsilon$  湍流模型,计算区域尺寸设定为 150 cm(长) × 45 cm(宽) × 60 cm(高),试验所选取人工鱼礁模型尺寸同水槽试验,为 10 cm × 10 cm × 10 cm 的正方体礁块;选取来流速度作为速度入口条件,流速为 18 cm/s。鱼礁模型开口比分别取  $r_1 = 0, r_2 = 0.01, r_3 = 0.04, r_4 = 0.09, r_5 = 0.16, r_6 = 0.25$ ,如图 1 所示。

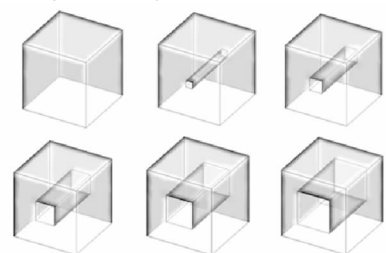


图 1 不同开口比人工鱼礁模型

Fig. 1 Artificial reef models with different opening rates

**基金项目** 国家自然科学基金青年基金(31302232);辽宁省教育厅优秀人才项目(LJQ2015017)。

**作者简介** 马菽洋(1994—),男,辽宁沈阳人,硕士研究生,研究方向:工程环境海洋学。\*通讯作者,副教授,博士,从事物理海洋学、工程环境海洋学研究。

**收稿日期** 2017-11-15

### 2 数值模拟结果与分析

大小鱼礁的背涡流分布情况侧视图如图3。

不同开口大小鱼礁的上升流分布情况如图2,不同开口

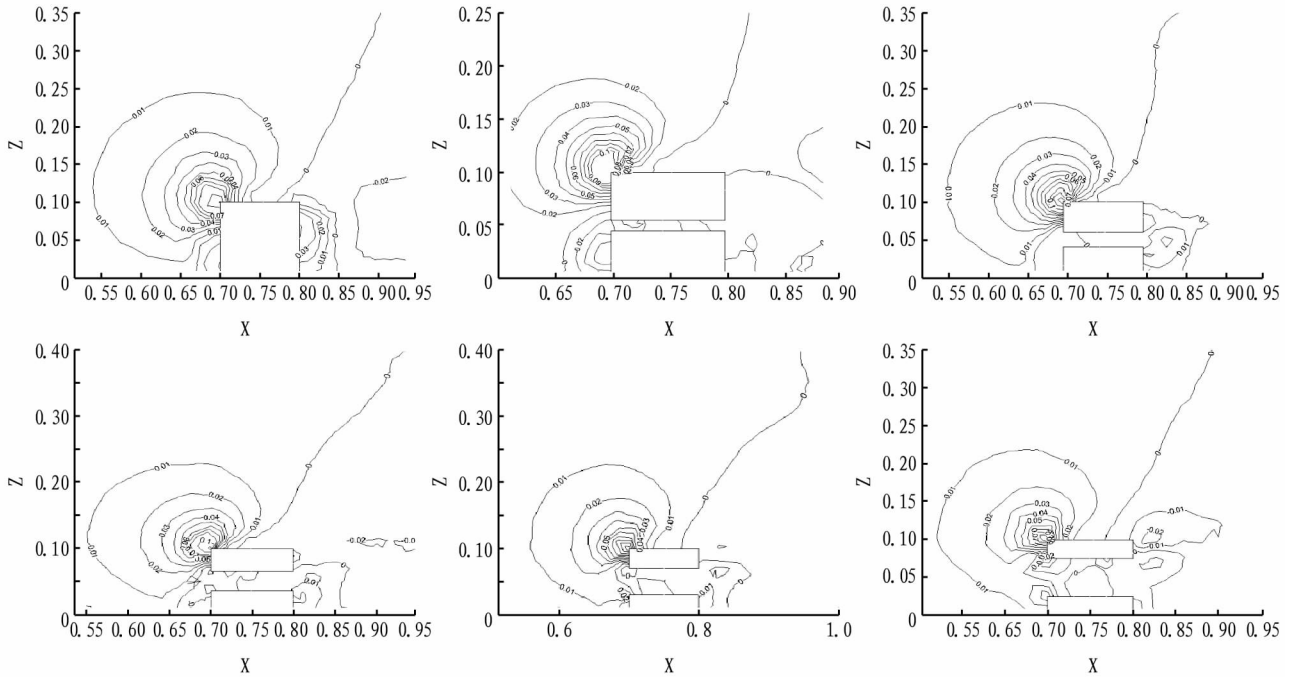


图2 不同开口大小人工鱼礁的上升流分布情况

Fig.2 Distribution of upwelling of artificial reef with different opening rates

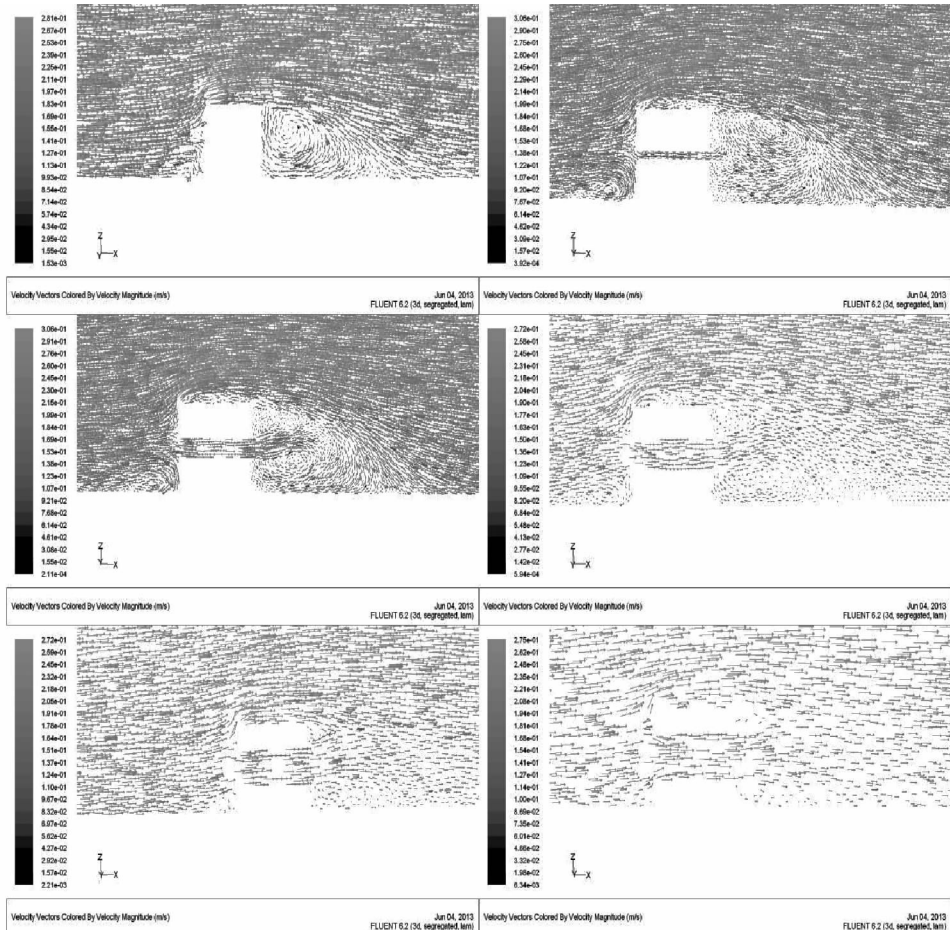


图3 不同开口大小鱼礁的背涡流分布情况侧视图

Fig.3 Lateral view of back eddy flows distribution of artificial reef with different opening rates

随着开口大小的变化,上升流的规模与强度随之有一定的变化。如图 4 所示,开口越大,上升流的高度相对减小,且上升流的水平跨度也越来越小。但是,当鱼礁开口时,礁体中下部区域的上升流有所增大,且开口过大时( $r > 0.16$ ),此种现象反而不如之前明显。因此,当鱼礁开口时,在一定程度上会促进上升流带动水体底部营养物质的循环。上升流的最大流速,出现在礁体前段的最上部,其大小随着开口的变大,呈略微减小的趋势。

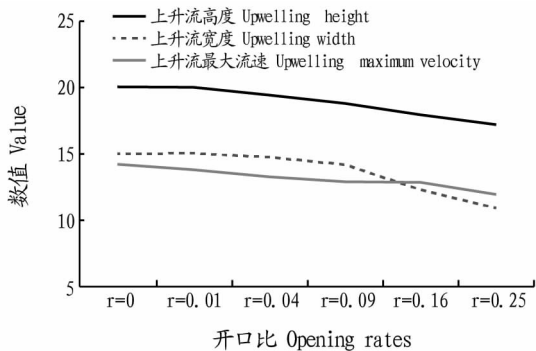


图 4 不同开口比人工鱼礁上升流区域对比 ( $U = 18 \text{ cm/s}$ )

Fig. 4 Comparison of the upwelling zone among different opening rates ( $U = 18 \text{ cm/s}$ )

在人工鱼礁试件开孔之后,礁体后方区域的流场情况变得愈加复杂。在开口比分别为  $r = 0.01$  和  $r = 0.04$  时,人工鱼礁后方的向下涡旋和不开口情况相比依然明显,并且其涡旋在水平方向上的长度呈增加的趋势,但是随着开口尺寸的增大,礁体后方的向下涡旋变得越不明显。数值模拟表明,当礁体开口时,在开孔上方与礁体顶端之间还会产生 2 个相对较小的反方向涡旋。总之,在人工鱼礁开口之后,礁体后方流场情况变得更加复杂,但是随着开口尺寸的连续增大,礁体后方的涡旋现象越不明显。因此,在选择指标时,为了充分考虑此礁体后方区域流场情况的复杂性,该研究并非单

一讨论背涡流的长度、高度等常用数据,而是选取更合理的回流区的长、宽、高的数据。因为当人工鱼礁附近的流场产生回流现象时,在一定程度上对流场水体内微生物、营养物质等对鱼类等产生诱集物质的运动有很大的促进作用,并且使回流区域水流速度减缓,为幼鱼提供休憩水域,对喜好缓流速度的鱼类起到诱集作用。如图 5 所示,随着开口大小的变化,礁体后方流场回流区在高度、宽度以及长度出现变化。在开口比为 0, 0.01, 0.04 时,回流区长度逐渐增长,在  $r = 0.04$  时最大,在  $r = 0.09$  以后,回流区长度随开口增大而减小。而回流区的长度和高度,随着开口大小的变大而不断减小。人工鱼礁开口比大小的改变对回流区长度影响最明显,以  $r = 0.04$  时为变化情况的转折点,可是开口比大小对回流区域的高度和宽度的影响都呈现反比例变化,即随着开口比大小的增加而不断减小。

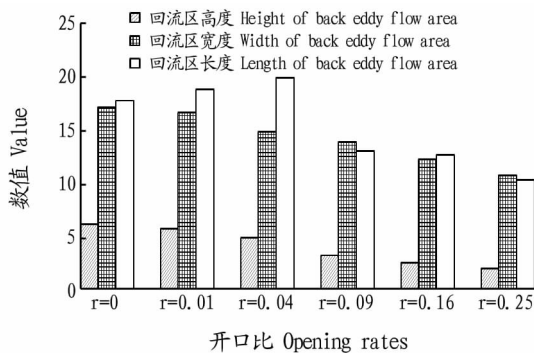


图 5 不同开口比人工鱼礁回流区规模

Fig. 5 Scale of back eddy flow area of artificial reef with different opening rates

3 开口比对人工鱼礁流场效应影响的评估

3.1 评价指标的选取和评价体系的建立 为建立具有条理清晰的对于人工鱼礁流场效应的评价指标体系,应用层次分析法<sup>[7]</sup>,所建立的指标体系及权重如图 6 所示。

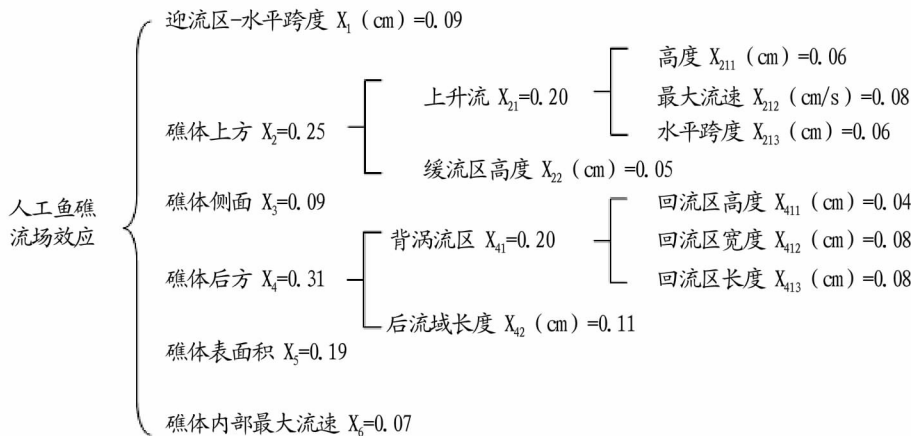


图 6 人工鱼礁流场效应评价体系结构

Fig. 6 Structure diagram of artificial reef flow field effect evaluation system

3.2 人工鱼礁开口大小变化对流场效应影响的评价 研究表明,开口大小的变化对鱼礁上升流影响不大,但是对鱼礁后方区域的影响较大。根据所选指标的数值(表 1),建立特征值矩阵 X,根据鱼礁投放区一般以选择流速较低地区(近

岸地区)为前提,指标特征值越大越优。取最大特征值的相对隶属度为 1,最小特征值的相对隶属度为 0,计算相对优属度,构造相对隶属度矩阵。计算评价对象对优劣的广义距离<sup>[8]</sup>。最后对任意一种开口情形计算相对优属度,从而得到

各个鱼礁流场效应的相对优属度,最后对其排序,结果见表2。

表1 不同开口大小人工鱼礁流场效应指标数值

Table 1 Index of artificial reef flow field effect of different openings rates

指标代码 Index code	开口大小 Opening rate					
	0	0.01	0.04	0.09	0.16	0.25
X <sub>1</sub>	15.612 2	15.446 2	15.161 6	14.639 8	14.046 8	13.287 8
X <sub>211</sub>	20.059 6	20.017 4	19.443 6	18.806 1	17.945 3	17.212 1
X <sub>212</sub>	14.22	13.81	13.28	12.91	12.86	11.94
X <sub>213</sub>	15.014	15.046 6	14.761 4	14.195 6	12.305 1	10.934 3
X <sub>22</sub>	2.7268	2.677 2	2.608 2	2.371 1	2.015 3	1.953 4
X <sub>3</sub>	20.653 5	20.160 9	18.785 2	17.267 2	15.986 4	15.272 8
X <sub>411</sub>	6.124 4	5.658 1	6.238	4.979 9	4.007 4	2.827 4
X <sub>412</sub>	17.124 9	16.603 1	14.800 5	13.804 3	12.191 4	10.720 8
X <sub>413</sub>	17.685 3	18.755 4	19.859 3	12.923 1	12.59 4	10.254 2
X <sub>42</sub>	58.240 3	54.855 3	52.785 5	48.074 3	45.373 3	42.824 6
X <sub>5</sub>	500	538	572	602	628	650
X <sub>6</sub>	0	0.150 7	0.162 5	0.167 5	0.175 9	0.191 7

表2 开口大小对人工鱼礁流场效应影响的优属度大小及其排序

Table 2 The optimal membership degree and its ranking of effect of opening rate on artificial reef flow field effect

项目 Item	开口大小 Opening rate					
	0	0.01	0.04	0.09	0.16	0.25
相对优属度 Relative membership degree	0.648 8	0.853 5	0.898 8	0.675 3	0.480 3	0.327 1
相对优属度排序 Rank of relative membership degree	4	2	1	3	5	6

#### 4 结论

根据相对隶属度排序可知,对于开口人工鱼礁,开口较小时产生的流场效应较好。在开口比为0.04时,流场效应最好,其次为开口0.01和0.09时。随着开口越大,产生的流场效应反而不如开口较小时,产生此现象的原因如下:上升流速随着开口增大逐渐减小,且当开口较大时减小明显;上升流高度与上升流水平跨度在开口较小时几乎没有变化,但是当开口较大时,上升流高度及水平跨度有一定程度的减小;在鱼礁开口较小时,回流区范围扩大,但是当开口较大时,由于水流经过开口后流速较大,造成礁体后方不容易产生回流,故回流区范围反而变小。

该研究建立的评价体系虽可应用于工程实际,但是实际生产中的人工鱼礁复杂度较高,在评价工作方面,仅为人工鱼礁流场效应影响搭建了一个初步的评价体系,由此选定一些评价指标和参数,其中很多影响因子的考量和权重要在今后的研究和发展中不断调整和修正。人工鱼礁是海洋牧场工程的重要组成部分,其环境作用、生态功能、经济价值等效

果日益显著。其所构建的生态系统也是一个复杂的结构系统,在今后的研究中有待对人工鱼礁的整体效果进行更为全面的指标选择、体系构建和效果评价,为我国的人工鱼礁建设工程提供科学的参考依据。

#### 参考文献

- [1] 张本,孙建璋.南麂列岛人工鱼礁生态休闲渔业设计与初步实施[J].现代渔业信息,2002,17(9):3-7.
- [2] 王波,武建平,高峻,等.关于青岛建设人工鱼礁改善近海生态和渔业环境的探讨[J].海岸工程,2004,23(4):66-73.
- [3] 林军,章守宇.人工鱼礁物理稳定性及其生态效应的研究进展[J].海洋渔业,2006,28(3):257-260.
- [4] 刘洪生,马翔,章守宇,等.人工鱼礁流场效应的模型实验[J].水产学报,2009,33(2):229-336.
- [5] 姜昭阳,梁振林,唐衍力,等.应用PIV系统研究横流中人工鱼礁模型绕流流场结构[C]//2008年中国水产学会全学术年会论文摘要集.北京:中国水产学会,2008:248-251.
- [6] 李珺,林军,章守宇.方形人工鱼礁通透性及其对礁体周围流场影响的数值实验[J].上海海洋大学学报,2010,19(6):836-840.
- [7] 许树柏.层次分析法原理[M].天津:天津大学出版社,1988.
- [8] 李安贵,张志宏,孟艳,等.模糊数学及其应用[M].北京:冶金工业出版社,2003.
- [9] 农业信息,2015(8):78.
- [4] 刘凯,段金荣,徐东坡,等.长江口刀鲚渔汛特征及捕捞量现状[J].生态学杂志,2012,31(12):3138-3143.
- [5] 冯亚明,顾海龙,顾树信,等.长江刀鲚苗种高成活率、低成本运输技术[J].江苏农业科学,2017,45(6):151-152.
- [6] 沈林宏,戴玉红,顾树信,等.长江刀鲚幼鱼的采集与运输技术研究[J].水产养殖,2011,32(5):4-6.
- [7] 顾海龙,冯亚明,樊昌杰.一种长江刀鲚土池半流水养殖方法[J].中国
- [8] 王宇希,汪亚平,黄辉,等.刀鲚的采集与运输[J].江苏农业科学,2015,43(8):230-231.
- [9] 徐钢春,聂志娟,薄其康,等.水温对刀鲚幼鱼耗氧率、窒息点、血糖及肌肝糖元指标的影响[J].生态学杂志,2012,31(12):3116-3120.
- [10] 徐钢春,杜富宽,聂志娟,等.10‰盐度对长江刀鲚幼鱼装载和运输胁迫中应激指标的影响[J].水生生物学报,2015(1):66-72.

(上接第97页)