



# 奥赛经典


专题研究系列

湖南省数学会 | 组编  
湖南师范大学数学奥林匹克研究所

## 奥林匹克数学中的真题分析

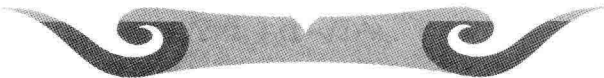
张 焱 沈文选 冷岗松 / 编著

湖南师范大学出版社



# 奥赛经典

专题研究系列



湖南省数学会 | 组编  
湖南师范大学数学奥林匹克研究所

## 奥林匹克数学中的真题分析

张 珏 沈文选 冷岗松 / 编著

湖南师范大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

奥林匹克数学中的真题分析 / 张垚, 沈文选, 冷岗松编著. —修订本.  
—长沙: 湖南师范大学出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-5648-1994-1

I. ①奥… II. ①张… ②沈… ③冷… III. ①中学数学课—高中—教  
学参考资料 IV. ①G634.603

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 288711 号

## 奥林匹克数学中的真题分析

张 垚 沈文选 冷岗松 编著

◇策 划: 廖小刚 颜李朝

◇责任编辑: 廖小刚 刘亮前

◇责任校对: 施 游

◇出版发行: 湖南师范大学出版社

地址/长沙市岳麓山 邮编/410081

电话/0731.88873071 88873070 传真/0731.88872636

网址/http://press.hunnu.edu.cn

◇经销: 湖南省新华书店

◇印刷: 国防科技大学印刷厂

◇开本: 787mm×1092mm 1/16

◇印张: 32.75

◇字数: 873 千字

◇版次: 2015 年 1 月第 3 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

◇书号: ISBN 978-7-5648-1994-1

◇定价: 50.00 元



#### ◆ 张 焱

男，1938年生，湖南师范大学数学与计算机科学学院教授，中国数学奥林匹克高级教练，湖南省数学奥林匹克主教练，美国《数学评论》评论员。1987~1999年任湖南省数学学会副理事长兼普及工作委员会主任，负责全省数学竞赛的组织及培训工作，并主持了1989年全国初中数学联赛和1997年全国高中数学联赛的命题工作。

已出版图书《数学奥林匹克理论、方法、技巧》等17部，发表学术论文80余篇。从1992年起享受国务院颁发的政府特殊津贴。曾荣获湖南省优秀教师，全国优秀教师，曾宪梓教育基金高等师范院校教师奖三等奖，湖南省教委科技进步奖二等奖等多项表彰和奖励。所培训的学生有100余人进入全国中学生数学冬令营，其中有40余人进入国家集训队，14人进入国家队，在国际中学生数学竞赛(IMO)中，共夺得10枚金牌和3枚银牌。



#### 沈文选

男，1948年生，湖南师范大学数学与计算机科学学院教授，硕士生导师，湖南师范大学数学奥林匹克研究所副所长，中国数学奥林匹克高级教练，全国初等数学研究会理事长，全国高等师范院校数学教育研究会常务理事，《数学教育学报》编委，湖南省高师教育研究会理事长，湖南省数学学会初等数学委员会副主任，湖南省数学奥林匹克培训的主要组织者与授课者，湖南师大附中、长沙市一中数学奥林匹克培训主要教练。

已出版著作《走进教育数学》、《单形论导引》、《矩阵的初等应用》、《中学数学思想方法》、《竞赛数学教程》等30余部，发表学术论文《奥林匹克数学研究与数学奥林匹克教育》等80余篇，发表初等数学研究、数学思想方法研究和数学奥林匹克研究等文章200余篇。多年来为全国初、高中数学联赛，数学冬令营提供试题20余道，是1997年全国高中数学联赛，2002年全国初中数学联赛，2003年第18届数学冬令营命题组成员。



#### 冷岗松

男，1961年生，湖南师范大学数学与计算机科学学院、上海大学数学系教授，博士生导师，湖南师范大学数学奥林匹克研究所所长，中国数学奥林匹克委员会委员，美国《数学评论》评论员。从2000年起参加中国数学奥林匹克国家集训队的教练工作和上海市数学奥林匹克选手的培训工作。2001~2004年，多次参加国家集训队，中国数学奥林匹克(CMO)，西部数学竞赛，女子数学竞赛的命题工作。1991~2004年担任湖南省数学奥林匹克培训主要教练，为湖南师大附中、长沙市一中前后10位同学在IMO中获取金牌做了大量培训工作。

已出版专著《高中数学竞赛解题方法研究》，在国内外重要数学学术期刊发表论文30余篇。先后承担国家自然科学基金项目，教育部博士点基金项目等多项。曾获湖南省教委科技进步奖二等奖。

奋发图强，力争上游，  
为提高我国数学水平  
而共同努力。

王梓坤敬书

▲王梓坤：中国科学院院士

## 湖南中学生在国际数学奥林匹克中的获奖情况

届次	获奖情况
第28届（1987）	刘 雄（湖南湘阴一中）金牌
第32届（1991）	郭早阳（湖南师大附中）银牌
第34届（1993）	刘 炆（湖南师大附中）金牌
第35届（1994）	彭建波（湖南师大附中）金牌
第39届（1998）	艾颖华（湖南师大附中） 进国家队，该届国家队未参赛
第40届（1999）	孔文彬（湖南师大附中）银牌
第41届（2000）	刘志鹏（长沙市一中）金牌
第42届（2001）	张志强（长沙市一中）金牌 余 君（湖南师大附中）金牌
第43届（2002）	肖 维（湖南师大附中）金牌
第44届（2003）	王 伟（湖南师大附中）金牌 向 振（长沙市一中）金牌
第45届（2004）	李先颖（湖南师大附中）金牌
第48届（2007）	胡 涵（湖南师大附中）银牌
第52届（2011）	龙子超（湖南师大附中）金牌
第55届（2014）	谌澜天（湖南师大附中）金牌

## 前言

数学奥林匹克是起步最早、规模最大、类型多种、层次较多的一项学科竞赛活动。多年来的实践表明：这项活动可以激发青少年学习数学的兴趣，焕发青少年的学习热情，吸引他们去读一些数学小册子，促使他们寻找机会去听一些名师的讲座；这项活动可以使参与者眼界大开，跳出一个班、一个学校或一个地区的小圈子，去与其他“高手”互相琢磨，激励并培养他们喜爱有挑战性数学问题的素养与精神；这项活动可以使参与者求知欲望大增，使得他们的阅读能力、理解能力、交流能力、表达能力等诸能力与日俱进。这是一种有深刻内涵的文化现象，因此，越来越多的国家或地区除组织本国或本地区的各级各类数学奥林匹克外，还积极地参与到国际数学奥林匹克中。

我国自1986年参加国际数学奥林匹克以来，所取得成绩举世公认，十多年来一直保持世界领先的水平。其中，到2014年止，湖南的学生已取得12块金牌、3块银牌的好成绩。这优异的成绩，是中华民族精神的体现，是国人潜质的反映，是民族强盛的希望。为使我国数学奥林匹克事业可持续发展，一方面要继续吸引越来越多的青少年参与，吸引一部分数学工作者扎实地投入到这项活动中来，另一方面要深入研究奥林匹克数学的理论体系，要深入研究数学奥林匹克教育理论与教学方略，研究数学奥林匹克教育与中学数学教育的内在联系。为此，在中国数学奥林匹克委员会领导的大力支持与热情指导下，2003年，湖南师范大学成立了“数学奥林匹克研究所”。研究所组建以来，我们都积极投身到研究所的工作中，除深入进行奥林匹克数学与数学奥林匹克教育理论研究外，还将我们多年积累的辅导讲座资料进行了全面、系统的整理，以专题讲座的形式编写成了这套专题研究丛书，分几何、代数、组合、数论、真题分析五卷。这些丰富、系统的专题知识不仅是创新地解竞赛题所不可或缺的材料，而且还可激发解竞赛题的直觉或灵感。从教育心理学角度上说，只有具备了充分的专题知识与逻辑推理知识，才能有目的、有方向、有成效地进行探究性活动。

由于这套丛书篇幅较大，本次修订不可能解决存在的所有问题，不足之处，敬请专家、同行和读者不吝指正。

编者  
2014年5月

## 目 录

## 第一篇 高中数学联赛第一试基本问题解法分析

第 1 章 函数 .....	(1)
第 2 章 方程(组) .....	(19)
第 3 章 三角 .....	(31)
第 4 章 不等式 .....	(44)
第 5 章 数列 .....	(67)
第 6 章 解析几何 .....	(93)
第 7 章 立体几何 .....	(118)
第 8 章 向量 .....	(132)
第 9 章 复数 .....	(145)
第 10 章 导数 .....	(155)
第 11 章 排列与组合 .....	(167)
第 12 章 概率初步 .....	(190)
第 13 章 初等数论 .....	(209)

## 第二篇 湖南省历年高中数学竞赛试题汇编

1988 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(231)
1990 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(233)
1990 年湖南省高中数学冬季集训试题 .....	(234)
1991 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(235)
1991 年湖南省高中数学冬季集训试题 .....	(236)
1992 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(237)
1992 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(239)
1994 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(242)
1994 年湖南省高中数学冬季集训试题 .....	(243)
1995 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(244)
1996 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(246)
1997 年全国高中数学竞赛试题(湖南省命题) .....	(248)
1998 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(251)



2000 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(253)
2000 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(255)
2001 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(258)
2001 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(260)
2002 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(263)
2002 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(265)
2003 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(268)
2003 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(270)
2004 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(273)
2004 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(275)
2005 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(278)
2005 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(280)
2006 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(283)
2006 年湖南省高中数学竞赛试题(A 卷) .....	(285)
2006 年湖南省高中数学竞赛试题(B 卷) .....	(287)
2007 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(289)
2007 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(291)
2008 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(293)
2008 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(295)
2009 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(297)
2009 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(299)
2010 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(301)
2010 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(303)
2011 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(306)
2011 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(307)
2012 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(309)
2012 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(311)
2013 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(313)
2013 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(314)
2014 年湖南省高中数学夏令营试题 .....	(316)
2014 年湖南省高中数学竞赛试题 .....	(318)
<b>参考答案</b> .....	<b>(320)</b>

## 第一篇

高中数学联赛第一试  
基本问题解法分析

## 第 1 章 函数

## 【基础知识】

函数既是高中数学学习的主线、重点,也是历年来全国高中数学联赛的基本内容、重点.指数函数、对数函数、幂函数、二次函数、无理函数以及三角函数等常常是主要的联赛试题载体.考查函数的单调性、有界性、极(最)值性、周期性、奇偶性以及图象的对称性等的灵活运用是联赛试题的主要题型.求解这类问题除了需熟练掌握函数的单调性、奇偶性、周期性、有界性等基本性质之外,还需要熟悉由这些基本性质推导出的一些结论,诸如下面的:

**结论 1** 设函数  $y = f(x)$  是定义在  $\mathbf{R}$  上的奇函数.

- (1) 若  $f(x)$  在  $\mathbf{R}$  上为单调函数,则  $|f(x_1)| < |f(x_2)| \Leftrightarrow |x_1| < |x_2|$ ;
- (2) 若  $f(x)$  在  $\mathbf{R}$  上为增函数,则  $|f(x_1)| < f(x_2) \Leftrightarrow |x_1| < x_2$ ;
- (3) 若  $f(x)$  在  $\mathbf{R}$  上为减函数,则  $|f(x_1)| < f(x_2) \Leftrightarrow |x_1| < -x_2$ .

**结论 2** 设函数  $y = f(x)$  是定义在  $\mathbf{R}$  上的偶函数.

- (1) 若  $f(x)$  在  $[0, +\infty)$  上为增函数,则  $f(x_1) < f(x_2) \Leftrightarrow |x_1| < |x_2|$ ;
- (2) 若  $f(x)$  在  $[0, +\infty)$  上为减函数,则  $f(x_1) < f(x_2) \Leftrightarrow |x_1| > |x_2|$ .

奇、偶函数的概念可以推广:

**定义 1** 对于函数  $f(x)(x \in \mathbf{R})$ ,若存在常数  $a$ ,使得其函数定义域内任意一个  $x$ ,都有  $f(a-x) = f(a+x)$ ,或  $f(2a-x) = f(x)$ , (1-1)

则称  $f(x)$  为广义(I)型偶函数.显然,当  $a=0$  时,  $f(x)$  为一般(即通常意义下)的偶函数.

对于函数  $f(x)(x \in \mathbf{R})$ ,若存在常数  $a$ ,使得其函数定义域内任意一个  $x$ ,都有

$f(a-x) = -f(a+x)$ ,或  $f(2a-x) = -f(x)$ , (1-2)

则称  $f(x)$  为广义(I)型奇函数.显然,当  $a=0$  时,  $f(x)$  为一般(即通常意义下)的奇函数.

**定义 2** 对于函数  $f(x)(x \in \mathbf{R})$ , 若存在常数  $a, b$ , 使得其函数定义域内任意一个  $x$ , 都有

$$f(a-x) = f(b+x), \quad (1-3)$$

则称  $f(x)$  为广义(II)型偶函数. 显然, 当  $a = b$  时,  $f(x)$  为广义(I)型偶函数; 当  $a = b = 0$  时,  $f(x)$  为一般的偶函数.

对于函数  $f(x)(x \in \mathbf{R})$ , 若存在常数  $a, b$ , 使得其函数定义域内任意一个  $x$ , 都有

$$f(a-x) = -f(b+x), \quad (1-4)$$

则称  $f(x)$  为广义(II)型奇函数. 显然, 当  $a = b$  时,  $f(x)$  为广义(I)型奇函数; 当  $a = b = 0$  时,  $f(x)$  为一般的奇函数.

**定义 3** 对于函数  $f(x)(x \in \mathbf{R})$ , 若存在常数  $a, b, m, n(m > 0, n > 0)$ , 使得其定义域内任意一个  $x$ , 都有

$$f(a-mx) = f(b+nx), \quad (1-5)$$

则称  $f(x)$  为广义(III)型偶函数. 显然, 当  $m = n = 1$  时,  $f(x)$  为广义(II)型偶函数; 当  $a = b = 0$ , 且  $m = n$  时,  $f(x)$  为一般的偶函数.

对于函数  $f(x)(x \in \mathbf{R})$ , 若存在常数  $a, b, m, n(m > 0, n > 0)$ , 使得其定义域内任意一个  $x$ , 都有

$$f(a-mx) = -f(b+nx), \quad (1-6)$$

则称  $f(x)$  为广义(III)型奇函数. 显然, 当  $m = n = 1$  时,  $f(x)$  为广义(II)型奇函数; 当  $a = b = 0$ , 且  $m = n$  时,  $f(x)$  为一般的奇函数.

**结论 3** 设  $f(x)$  为定义在  $\mathbf{R}$  上的广义(II)型偶函数.

(1) 若  $f(x)$  在  $[\frac{a+b}{2}, +\infty)$  上为增函数, 则

$$f(x_1) < f(x_2) \Leftrightarrow |x_1 - \frac{a+b}{2}| < |x_2 - \frac{a+b}{2}|;$$

(2) 若  $f(x)$  在  $[\frac{a+b}{2}, +\infty)$  上为减函数, 则

$$f(x_1) < f(x_2) \Leftrightarrow |x_1 - \frac{a+b}{2}| > |x_2 - \frac{a+b}{2}|.$$

**结论 4** 设  $f(x)$  为定义在  $\mathbf{R}$  上的广义(II)型奇函数.

(1) 若  $f(x)$  在  $\mathbf{R}$  上为单调函数, 则

$$|f(x_1)| < |f(x_2)| \Leftrightarrow |x_1 - \frac{a+b}{2}| < |x_2 - \frac{a+b}{2}|;$$

(2) 若  $f(x)$  在  $\mathbf{R}$  上为增函数, 则

$$|f(x_1)| < f(x_2) \Leftrightarrow |x_1 - \frac{a+b}{2}| < x_2 - \frac{a+b}{2};$$

(3) 若  $f(x)$  在  $\mathbf{R}$  上为减函数, 则

$$|f(x_1)| < f(x_2) \Leftrightarrow |x_1 - \frac{a+b}{2}| < \frac{a+b}{2} - x_2.$$

**结论 5** 设  $a, b$  是两个相异的常数, 则

(1) 当  $f(x)$  关于  $a, b$  均为广义(I)型偶函数时,  $f(x)$  为周期函数, 且  $2|b-a|$  为其一个正周期;

(2) 当  $f(x)$  关于  $a, b$  均为广义(I)型奇函数时,  $f(x)$  为周期函数, 且  $2|b-a|$  为其一个正周期;

(3) 当  $f(x)$  关于  $a, b$ , 一个为广义(I)型奇函数, 另一个为广义(I)型偶函数时,  $f(x)$  为周期函数, 且  $4|b-a|$  为其一个正周期.

**结论 6** 设  $f(x)$  为定义在  $\mathbf{R}$  上的函数, 对任意  $x \in \mathbf{R}$ , 恒有

(1)  $f(a-x) = f(b-x)$  (或  $f(a+x) = f(b+x)$ ) ( $a \neq b$ ) 成立, 则  $f(x)$  为周期函数, 且  $|b-a|$  为其一正周期;

(2)  $f(a+x) = -f(b+x)$  (或  $f(a-x) = -f(b-x)$ ) ( $a \neq b$ ) 成立, 则  $f(x)$  为周期函数, 且  $2|b-a|$  为其一正周期;

(3)  $f(x-a) + f(x+a) = f(x)$  ( $a \neq 0$ ) 成立, 则  $f(x)$  为周期函数, 且  $6|a|$  为其一正周期.

**结论 7** 对于实数  $a_i, b_i, m_i, n_i$  ( $i = 1, 2$ ), 且  $m_1 \cdot m_2 = n_1 \cdot n_2, m_1(a_2 - b_1) \neq n_1 \cdot (a_1 - b_2)$ , 若对于定义在  $\mathbf{R}$  上的函数  $f(x)$ , 且对于任意  $x \in \mathbf{R}$ , 有

(1)  $f(a_i - m_i x) = f(b_i + n_i x)$  ( $i = 1, 2$ ), 则  $f(x)$  为周期函数, 且  $|(a_2 - b_1) + \frac{m_2}{n_2} \cdot (b_2 - a_1)|$  为其一正周期;

(2)  $f(a_i - m_i x) = -f(b_i + n_i x)$  ( $i = 1, 2$ ), 则  $f(x)$  为周期函数, 且  $|(a_2 - b_1) + \frac{n_1}{m_1} \cdot (b_2 - a_1)|$  为其一正周期;

(3)  $f(a_1 - m_1 x) = f(b_1 + n_1 x), f(a_2 - m_2 x) = -f(b_2 + n_2 x)$ , 则  $f(x)$  为周期函数, 且  $2|(a_2 - b_1) + \frac{n_1}{m_1}(b_2 - a_1)|$  为其一正周期.

**结论 8** 设  $T$  为非零常数, 若对于函数定义域内的任意  $x$ , 恒有

$$f(x+T) = M[f(x)], \tag{1-7}$$

其中  $M(x)$  满足  $M[M(x)] = x$ , 且  $M(x) \neq x$ , 则  $f(x)$  为周期函数, 且  $2T$  为其一个周期.

以上结论 3 ~ 8 均由周期函数的定义即可推证.

在结论 8 中, 若取  $M(x) = -x$ , 则有  $f(x+T) = -f(x)$ ; 若取  $M(x) = \pm \frac{1}{x}$ , 则有  $f(x+T) = \pm \frac{1}{f(x)}$ ; 若取  $M(x) = \frac{ax+b}{cx-a}$  ( $a^2+bx \neq 0$ ), 则有  $f(x+T) = \frac{af(x)+b}{cf(x)-a}$  ( $a^2+bx \neq 0$ ) 等. 满足这些条件的  $f(x)$  均为周期函数, 且  $2T$  为其一个周期.

在结论 8 中, 若取  $M(x) = \frac{1}{2} + \sqrt{x-x^2}$ , 则有  $f(x+T) = \frac{1}{2} + \sqrt{f(x) - [f(x)]^2}$ , 此即为 IMO 第 10 届中的一道试题.

我们知道, 对于奇函数, 其图象关于原点  $(0, 0)$  成中心对称; 对于偶函数, 其图象关于  $y$  轴 ( $x = 0$ ) 成轴对称. 一般地, 我们有

**结论 9** 函数  $f(x)$  定义在  $\mathbf{R}$  上, 对于定义域内任一实数  $x$ , 都有

$$f(a+x) + f(b-x) = c \quad (1-8)$$

成立的充要条件是函数  $f(x)$  的图象关于点  $(\frac{a+b}{2}, \frac{c}{2})$  成中心对称.

**结论 10** 函数  $f(x)$  定义在  $\mathbf{R}$  上, 对于定义域内任一实数  $x$ , 都有

$$f(a+x) - f(b-x) = 0 \quad (1-9)$$

成立的充要条件是函数  $f(x)$  的图象关于直线  $x = \frac{a+b}{2}$  成轴对称.

### 【基本问题与求解方法】

**例 1** (1999 年全国高中联赛题) 若  $(\log_2 3)^x - (\log_5 3)^x \geq (\log_2 3)^{-y} - (\log_5 3)^{-y}$ , 则( ).

- A.  $x - y \geq 0$       B.  $x + y \geq 0$       C.  $x - y \leq 0$       D.  $x + y \leq 0$

**解** 因  $0 < \log_5 3 < 1 < \log_2 3$ , 知  $y_1 = (\log_2 3)^x$  为  $\mathbf{R}$  上的增函数.

又由  $(\log_5 3)^x$  为  $\mathbf{R}$  上的减函数, 知  $y_2 = -(\log_5 3)^x$  为  $\mathbf{R}$  上的增函数, 从而  $y = y_1 + y_2 = (\log_2 3)^x - (\log_5 3)^x$  为  $\mathbf{R}$  上的增函数.

由已知  $(\log_2 3)^x - (\log_5 3)^x \geq (\log_2 3)^{-y} - (\log_5 3)^{-y}$ , 得  $x \geq -y$ , 即有  $x + y \geq 0$ . 故选 B.

**例 2** (1989 年全国高中联赛题) 对任意的函数  $y = f(x)$ , 在同一个直角坐标系中, 函数  $y = f(x-1)$  与函数  $y = f(-x+1)$  的图象恒( ).

- A. 关于  $x$  轴对称      B. 关于直线  $x = 1$  对称  
C. 关于直线  $x = -1$  对称      D. 关于  $y$  轴对称

**解** 由于  $f(t)$  和  $f(-t)$  的图象关于直线  $t = 0$  对称, 从而  $f(x-1)$  与  $f(-x+1) = f[-(x-1)]$  的图象关于直线  $x-1 = 0$  即  $x = 1$  对称. 故选 B.

**例 3** (1988 年全国高中联赛题) 设有三个函数, 第一个是  $y = \varphi(x)$ , 它的反函数就是第二个函数, 而第三个函数的图象与第二个函数的图象关于直线  $x + y = 0$  对称, 那么第三个函数是( ).

- A.  $y = -\varphi(x)$       B.  $y = -\varphi(-x)$       C.  $y = -\varphi^{-1}(x)$       D.  $y = -\varphi^{-1}(-x)$

**解** 第一个函数的图象与第二个函数的图象关于  $x - y = 0$  对称, 第二个函数的图象与第三个函数的图象关于  $x + y = 0$  对称, 所以第一个函数的图象与第三个函数的图象关于原点对称. 故选 B.

**例 4** (1984 年全国高中联赛题) 若  $F(\frac{1-x}{1+x}) = x$ , 则下列等式中正确的是( ).

- A.  $F(-2-x) = -2 - F(x)$       B.  $F(-x) = F(\frac{1-x}{1+x})$   
C.  $F(\frac{1}{x}) = F(x)$       D.  $F[F(x)] = -x$

**解** 由题设  $F(\frac{1-x}{1+x}) = x$ , 知  $F(x) = \frac{1-x}{1+x}$ , 其图象关于点  $(-1, -1)$  成中心对称. 根

据结论 9, 有  $F(x) + F(-2-x) = -2$ . 故选 A.

或者由  $F(-2-x) = \frac{1-(-2-x)}{1+(-2-x)} = -\frac{3+x}{1+x} = -2 - \frac{1-x}{1+x} = -2 - F(x)$  即得. 或

者用特殊值验证排除: 由  $F(\frac{1-x}{1+x}) = x$ , 令  $x=1$  得  $F(0)=1$ , 令  $x=0$  得  $F(1)=0$ . 而在 B 的等式中, 令  $x=0$ , 有  $F(0)=F(1)$ , 可排除 B; 在 C 的等式中,  $x=0$  无意义, 排除 C; 在 D 的等式中, 左边  $F[F(1)] = F(0) = 1 \neq -1$ , 排除 D.

**例 5** (2003 年全国高中联赛题) 已知  $x, y$  都在区间  $(-2, 2)$  内, 且  $xy = -1$ , 则函数  $u = \frac{4}{4-x^2} + \frac{9}{9-y^2}$  的最小值是 \_\_\_\_\_.

**解** 由已知得  $y = -\frac{1}{x}$ , 从而

$$u = \frac{4}{4-x^2} + \frac{9}{9-y^2} = \frac{4}{4-x^2} + \frac{9x^2}{9x^2-1} = 1 + \frac{35}{37 - (9x^2 + \frac{4}{x^2})}$$

而  $x \in (-2, -\frac{1}{2}) \cup (\frac{1}{2}, 2)$ , 当  $9x^2 = \frac{4}{x^2}$ , 即  $x^2 = \frac{2}{3}$  时,  $9x^2 + \frac{4}{x^2}$  的值最小, 此时  $u$  有最小值  $\frac{12}{5}$ .

**例 6** (2004 年全国高中联赛题) 设函数  $f: \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}$ , 满足  $f(0) = 1$ , 且对任意  $x, y \in \mathbf{R}$ , 都有  $f(xy+1) = f(x) \cdot f(y) - f(y) - x + 2$ , 则  $f(x) =$  \_\_\_\_\_.

**解** 对任意的  $x, y \in \mathbf{R}$ ,

有  $f(xy+1) = f(x) \cdot f(y) - f(y) - x + 2,$

$$f(xy+1) = f(y) \cdot f(x) - f(x) - y + 2,$$

故  $f(x) \cdot f(y) - f(y) - x + 2 = f(y) \cdot f(x) - f(x) - y + 2,$

即  $f(x) + y = f(y) + x.$

由题设, 当  $y=0$  时, 有  $f(0)=1$ , 故  $f(x) = x+1$ .

**例 7** (2009 年全国联赛题) 求函数  $y = \sqrt{x+27} + \sqrt{13-x} + \sqrt{x}$  的最大值和最小值.

**解** 函数的定义域为  $[0, 13]$ .

$$\begin{aligned} \text{由 } y &= \sqrt{x} + \sqrt{x+27} + \sqrt{13-x} \\ &= \sqrt{x+27} + \sqrt{13+2\sqrt{x(13-x)}} \\ &\geq \sqrt{27} + \sqrt{13} = 3\sqrt{3} + \sqrt{13}, \end{aligned}$$

知当  $x=0$  时, 上式等号成立.

故  $y$  的最小值为  $3\sqrt{3} + \sqrt{13}$ .

由柯西不等式得

$$\begin{aligned} y^2 &= (\sqrt{x} + \sqrt{x+27} + \sqrt{13-x})^2 \\ &\leq \left(\frac{1}{2} + 1 + \frac{1}{3}\right)[2x + (x+27) + 3(13-x)] \end{aligned}$$

$$= 121.$$

故  $y \leq 11$ . ①

再由柯西不等式等号成立的条件得

$$4x = 9(13 - x) = x + 27 \Rightarrow x = 9.$$

故当  $x = 9$  时, 式 ① 等号成立.

因此,  $y$  的最大值为 11.

**例 8** (2010 年全国高中联赛题) 已知函数  $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d (a \neq 0)$ , 当  $0 \leq x \leq 1$  时,  $|f'(x)| \leq 1$ . 试求  $a$  的最大值.

**解** 注意到  $f'(x) = 3ax^2 + 2bx + c$ . 由

$$\begin{cases} f'(0) = c, \\ f\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{3}{4}a + b + c, \\ f'(1) = 3a + 2b + c, \end{cases}$$

得  $3a = 2f'(0) + 2f'(1) - 4f'\left(\frac{1}{2}\right)$ .

$$\begin{aligned} \text{则 } 3|a| &= \left| 2f'(0) + 2f'(1) - 4f'\left(\frac{1}{2}\right) \right| \\ &\leq 2|f'(0)| + 2|f'(1)| + 4\left|f'\left(\frac{1}{2}\right)\right| \leq 8. \end{aligned}$$

故  $a \leq \frac{8}{3}$ .

又因为  $f(x) = \frac{8}{3}x^3 - 4x^2 + x + m (m \text{ 为常数})$  满足题设条件, 所以,  $a$  的最大值为  $\frac{8}{3}$ .

**例 9** (2011 年全国高中联赛题) 设函数  $f(x) = |\lg(x+1)|$ , 实数  $a, b (a < b)$  满足  $f(a) = f\left(-\frac{b+1}{b+2}\right)$ ,  $f(10a+6b+21) = 4\lg 2$ . 求  $a, b$  的值.

**解** 由题设得

$$|\lg(a+1)| = \left| \lg\left(-\frac{b+1}{b+2} + 1\right) \right| = \left| \frac{1}{b+2} \right| = |\lg(b+2)|.$$

则  $a+1 = b+2$  或  $(a+1)(b+2) = 1$ .

由  $a < b$ , 知  $a+1 \neq b+2$ .

故  $(a+1)(b+2) = 1$ . ①

又由  $f(a) = |\lg(a+1)|$  有意义, 知  $0 < a+1$ .

从而,  $0 < a+1 < b+1 < b+2$ .

于是,  $0 < a+1 < 1 < b+2$ .

则  $(10a+6b+21)+1 = 10(a+1) + 6(b+2) > 1$ .

故  $f(10a+6b+21) = \lg\left[6(b+2) + \frac{10}{b+2}\right] = 4\lg 2$ .

从而,  $6(b+2) + \frac{10}{b+2} = 16$ .

解得  $b = -\frac{1}{3}$  或  $b = -1$  (舍去).

把  $b = -\frac{1}{3}$ , 代入式 ① 解得  $a = -\frac{2}{5}$ .

因此,  $a = -\frac{2}{5}, b = -\frac{1}{3}$ .

**例 10** (2013 年全国高中联赛题) 求所有的正实数对  $(a, b)$ , 使得函数  $f(x) = ax^2 + b$  满足: 对任意的实数  $x, y$  有  $f(xy) + f(x+y) \geq f(x)f(y)$ .

**解** 由题意得

$$(ax^2y^2 + b) + [a(x+y)^2 + b] \geq (ax^2 + b)(ay^2 + b). \quad ①$$

先求  $a, b$  所满足的必要条件.

在式 ① 中令  $y = 0$ , 得

$$b + (ax^2 + b) \geq (ax^2 + b)b \Rightarrow (1-b)ax^2 + b(2-b) \geq 0.$$

由于  $a > 0$ , 故  $ax^2$  可取到任意大的正值, 因此, 必有  $1-b \geq 0$ , 即  $0 < b \leq 1$ .

在式 ① 中再令  $y = -x$ , 得

$$(ax^4 + b) + b \geq (ax^2 + b)^2 \Rightarrow (a-a^2)x^4 - 2abx^2 + (2b-b^2) \geq 0. \quad ②$$

将式 ② 左边记为  $g(x)$ . 显然,  $a-a^2 \neq 0$ . 否则, 由  $a > 0$ , 知  $a = 1$ , 此时,

$$g(x) = -2bx^2 + (2b-b^2)(b > 0).$$

则  $g(x)$  可取到负值, 矛盾. 故

$$\begin{aligned} g(x) &= (a-a^2)\left(x^2 - \frac{ab}{a-a^2}\right) - \frac{(ab)^2}{a-a^2} + (2b-b^2) \\ &= (a-a^2)\left(x^2 - \frac{b}{1-a}\right)^2 + \frac{b}{1-a}(2-2a-b) \\ &\geq 0 \end{aligned}$$

对一切实数  $x$  成立.

于是,  $a-a^2 > 0$ , 即  $0 < a < 1$ .

进一步, 考虑到此时  $\frac{b}{1-a} > 0$ , 再由  $g\left(\sqrt{\frac{b}{1-a}}\right) = \frac{b}{1-a}(2-2a-b) \geq 0$ ,

知  $2a+b \leq 2$ .

从而, 求得  $a, b$  满足的必要条件为

$$0 < b \leq 1, 0 < a < 1, 2a+b \leq 2. \quad ③$$

下面证明, 对满足条件 ③ 的任意实数对  $(a, b)$  及任意非负实数  $x, y$ , 式 ① 总成立, 即

$$\begin{aligned} h(x, y) &= (a-a^2)x^2y^2 + a(1-b)(x^2+y^2) + 2axy + (2b+b^2) \\ &\geq 0. \end{aligned}$$

事实上, 在条件 ③ 成立时, 有

$$a(1-b) \geq 0, a-a^2 > 0, \frac{b}{1-a}(2-2a-b) \geq 0.$$

再结合  $x^2 + y^2 \geq -2xy$ , 得

$$h(x, y) \geq (a-a^2)x^2y^2 + a(1-b)(-2xy) + 2axy + (2b+b^2)$$



$$\begin{aligned} &= (a-a^2)x^2y^2 + 2abxy + (2b-b^2) \\ &= (a-a^2)\left(xy + \frac{b}{1-a}\right)^2 + \frac{b}{1-a}(2-2a-b) \\ &\geq 0. \end{aligned}$$

综上,所求的正实数对 $(a,b)$ 全体为

$$\{(a,b) \mid 0 < b \leq 1, 0 < a < 1, 2a + b \leq 2\}.$$

## 【解题思维策略分析】

### 1. 注意函数基本性质的灵活运用

**例 11** (1994 年全国高中联赛题) 已知  $x, y \in [-\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{4}]$ , 且  $\begin{cases} x^3 + \sin x - 2a = 0, \\ 4y^3 + \sin y \cdot \cos y + a = 0, \end{cases}$

则  $\cos(x+2y) =$  \_\_\_\_\_.

**解** 考察函数  $f(t) = t^3 + \sin t$ , 它在  $[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$  上是单调递增的函数. 令  $f(x) = 2a$ , 即  $x^3 + \sin x - 2a = 0$ , 及  $f(2y) = -2a$ , 即  $4y^3 + \sin y \cdot \cos y + a = 0$ .

由  $f(x) = 2a = f(-2y)$ , 得  $x = -2y$ .

而  $2y \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ , 知  $y \in [-\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{4}]$ , 故  $\cos(x+2y) = 1$ .

**例 12** (2010 年全国高中联赛题) 函数  $f(x) = \sqrt{x-5} - \sqrt{24-3x}$  的值域是\_\_\_\_\_.

**解** 易知,  $f(x)$  的定义域是  $[5, 8]$ , 且  $f(x)$  在  $[5, 8]$  上是增函数.

从而,  $f(x)$  的值域为  $[-3, \sqrt{3}]$ .

**例 13** (第 9 届“希望杯”邀请赛培训题) 定义在实数集  $\mathbf{R}$  上的函数  $y = f(x+1)$  的反函数是  $y = f^{-1}(x+1)$ , 并且  $f(1) = 3997$ , 则  $f(1998)$  的值等于\_\_\_\_\_.

**解** 由题设  $y = f^{-1}(x+1)$ , 得

$$f(y) = x+1, \text{ 即 } x = f(y) + 1, \text{ 故得反函数 } y = f(x) - 1.$$

由题设, 有  $f(x) - 1 = f(x+1)$ , 即  $f(x+1) - f(x) = -1$ .

于是  $f(1998) = [f(1998) - f(1997)] + [f(1997) - f(1996)] + \cdots + [f(2) - f(1)] + f(1) = -1997 + 3997 = 2000$ .

**例 14** (第 10 届“希望杯”邀请赛培训题)  $f(x)$  和  $g(x)$  的定义域都是  $\mathbf{R}$ ,  $f(x)$  是偶函数,  $g(x)$  是奇函数, 且  $f(x) + g(x) = \frac{1}{x^2 - x + 1}$ , 那么  $\frac{f(x)}{g(x)}$  的取值范围为\_\_\_\_\_.

**解** 由  $f(x) + g(x) = \frac{1}{x^2 - x + 1}$  及  $g(x)$  为奇函数, 可得  $f(x) - g(x) = \frac{1}{x^2 + x + 1}$ .

$$\text{于是 } f(x) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{x^2 - x + 1} + \frac{1}{x^2 + x + 1} \right) = \frac{x^2 + 1}{(x^2 - x + 1)(x^2 + x + 1)},$$

$$g(x) = \frac{x}{(x^2 - x + 1)(x^2 + x + 1)},$$