

微 積 分 学

孙光远 孙叔平著

(修 訂 本)

商 务 印 书 馆



学 分 积 微

孙 光 远 著
孙 叔 平

(修 訂 本)

商 务 印 书 馆

101E
P. 8921

微 积 分 学

孙光远 孙叔平著

商 务 印 书 馆 出 版

北京东总布胡同 10 号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 107 号)

新 华 书 店 总 经 售

上海大东集成联合印刷厂印刷

统一书号 13017·132

1940 年 9 月初版

开本 850×1168 1/32

1957 年 6 月 9 版

印张 11 14/16

1959 年 4 月上海第 4 次印刷

印数 19,901—21,900

定价(10) 1.80

目 次

第一章 函數及極限

	頁
1. 常數, 變數	1
2. 函數及其圖表	2
3. 初等函數	5
4. 極限	9
5. 函數之極限	14
6. 關於極限值的定理	17
7. 兩個重要極限值	20
$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x}$	20
$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x$	21
8. 函數的連續性	23
9. 關於連續函數的基本定理	26
10. 連續函數的特性	27
11. 指數函數	29
12. 對數函數	31
習題 1	33

第二章 微分法

13. 導數	36
14. 導數的幾何意義	37
15. 微分	39

16. 簡單函數的導數	41
17. 關於導數的基本定理	43
習題 2	49

第三章 導數之性質及其應用

18. 函數之增減與其導數之關係	52
19. Rolle 氏定理	52
20. 中值定理	53
21. 增函數, 減函數	55
22. Cauchy 氏定理	55
23. 函數之極大值與極小值	56
24. 函數之近似值	62
習題 3	64

第四章 逐次微分法

25. 逐次導數	67
26. 關於逐次導數的定理	69
27. 求逐次導數之特別方法	71
28. 反函數的逐次導數	73
29. $x=\varphi(t)$, $y=\psi(t)$, 求 y 對於 x 的逐次導數	73
30. 逐次微分	74
31. 無窮小	75
32. 不定形	77
33. 方程式論上之應用	81
34. 物理學上之應用	83
習題 4	88

第五章 平面曲線

35. 切線, 法線	92
36. 弧微分	94
37. 曲線之凹凸	96
38. 最切圓	98
39. 曲率	99
40. 縮閉線及伸開線	102
41. 極座標	105
習題 5	107

第六章 無窮級數

42. 無窮級數	110
43. 關於級數的基本定理	111
44. 正項級數	112
45. 交錯級數	117
46. 絕對收斂級數	118
47. 複數項級數	121
48. 冪級數	123
49. 冪級數之微分法	125
習題 6	128

第七章 函數之展開

50. Taylor 氏定理	132
51. Maclaurin 氏定理	135
52. Taylor 氏級數及 Maclaurin 氏級數	136
53. 指數函數之展開	137
54. $\sin x$ 及 $\cos x$ 之展開	140

55. Euler 氏公式	141
56. 雙曲線函數	142
57. $\log(1+x)$ 之展開	143
58. 對數之計算	145
59. 二項級數	147
60. 展開之特別方法	149
61. 函數展開之應用	152
1° 函數之近似值	152
2° 不定形之極限值	153
3° 極值之判定	154
習題 7	156

第八章 不定積分

62. 不定積分	159
63. 積分的基本定理	160
64. 代換積分法	161
65. 部份積分法	162
66. 幾個重要積分	164
67. 雜例	167
習題 8	171

第九章 定積分

68. 定積分	175
69. 積分值之存在	178
70. 關於定積分的定理	180
71. 定積分與不定積分的關係	183
72. 由不定積分求定積分	184
1° 基本公式	184

	目次	V
2° 代換積分法	...	185
3° 部份積分法	...	187
73. 冪級數的積分法	...	188
74. 無窮積分	...	190
75. 收斂性的決定	...	191
76. 瑕積分	...	193
77. 平面形之面積	...	196
78. 平面曲線之長	...	202
79. 定積分之近似值 (Simpson 氏之法則)	...	207
習題 9	...	210

第十章 積分法

80. 有理函數之積分	...	215
81. 無理函數之積分	...	222
1° $R(x, \sqrt[3]{ax+b})$	...	222
2° $R(x, \sqrt{ax^2+2bx+c})$	...	223
3° $x^m(ax^n+b)^{\frac{p}{q}}$	...	223
82. 超越函數之積分	...	227
1° $R(\sin x, \cos x)$	...	228
2° $\sin^m x \cos^n x$	...	229
習題 10	...	232

第十一章 偏微分法

83. 二變數的函數	...	233
84. 偏導數	...	239
85. 逐次偏導數	...	240
86. 全微分	...	242

87. 函數的函數之偏導數	248
88. Taylor 氏定理	246
89. 函數 $f(x, y)$ 之極值	250
90. 隱函數之微分法	252
習題 11	253

第十二章 幾何上的應用

91. 切線, 法線, 特異點	258
92. 漸近線	260
93. 曲線之畫法	263
94. 包線	269
95. 空間曲線的切線及法平面	274
96. 曲面的切平面與法線	277
97. 最切面	279
習題 12	281

第十三章 重積分

98. 重積分	284
99. 函數 $F(x) = \int_a^b f(x, y) dy$	285
100. 重積分的求法	287
101. 體積	295
102. 變數之更換	301
103. 旋轉體的體積	307
104. 曲面的面積	308
105. 旋轉面的面積	313
106. Euler 氏積分	316
107. 重心	320

108. 慣性能率	322
習題 13	323

第十四章 一級微分方程式

109. 定義	327
110. 一級微分方程式的構成	328
111. 變數可分離的方程式	329
112. 齊次方程式	330
113. 恰當方程式	332
114. 積分因子	333
115. 線性方程式	336
116. 方程式 $F(x, y')=0, F(y, y')=0$ 的積分	339
117. Lagrange 氏方程式	340
118. Clairaut 氏方程式	341
119. 正交曲線	343
習題 14	344

第十五章 高級微分方程式

120. 二級微分方程式的構成	348
121. 簡易二級微分方程式	349
122. 線性方程式	352
123. 常係數線性方程式	353
124. 有右端的常係數線性方程式	355
125. Euler 氏線性方程式	359
126. Lagrange 氏求特解的方法	362
127. 微分方程組	364
128. 幾何的說明	366
習題 15	368

第一章

函數及極限

1. 常數, 變數 有一種數量, 在計算的時候, 其數值是永遠不變的, 這種數量叫做常數. 我們以後常用 $a, b, c, \dots A, B, C, \dots \alpha, \beta, \gamma, \dots$ 來代表常數. 又有一種數量, 在計算的時候, 其數值在一定範圍之內可以變易的, 這種數量叫做變數. 我們以後常用 $x, y, z, \dots, X, Y, Z, \dots$ 來代表變數.

在數學中, 我們常用一直線上的點, 來表示種種數值. 如在一直線上, 任擇一點 O 使其代表零, 這點叫做原點. 又任擇一段之長如 OU , 叫

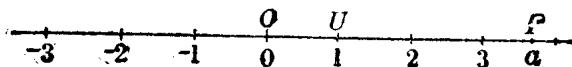


圖 1

做單位. 設 P 為直線上的一點, OP 之長便代表一數 a . 凡點之在原點右者, 用以代表正數, 在原點左者, 用以代表負數, 並且我們認為直線上的點, 足以表達一切實數而無遺. 申言之, 凡直線上任何一點, 都表示一個實數. 任何實數, 必有直線上的一點為其代表.

設變數 x 在 a, b 二數之間 ($a < b$), 可以任意變易, 但不能小於 a , 也不能大於 b , 我們就寫如

$$a \leq x \leq b.$$

若用直線上的點來講, 變數 x 可以代表 ab 段中一切的點. a, b 二數

所以限制變數 x 的範圍，這種範圍叫做變數 x 的間隔，我們常用記號 (a, b) 或 $a \leq x \leq b$ 以表示之。

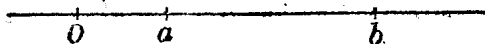


圖 2

2. 函數及其圖表 設 x 與 y 表示兩個變數，若 x 之值既定， y 之值就隨之而定， x 與 y 之間有一種相倚相應的關係，那末 y 就叫做 x 的函數。這時 x 叫做自變數， y 也叫做因變數。例如 $y = x - 3$ ，當 $x = 3$ 時， y 之值為零。 x 等於其他之數如 1, 2, 4, 5, ... 時， y 之值為 -2, -1, 1, 2, ... y 與 x 之間有一種相倚相應的關係，至為顯然。在自然科學中，函數的例，所在皆是。如氣體所佔的容量，當溫度不變之時，與其所受的壓力成反比例，如以 p 表壓力， v 表容量， c 表一常數，則有

$$v = \frac{c}{p}.$$

根據這個關係，我們可以從 p 知 v 。又如物體受地心吸力而下墮，其所經的途徑，自然是時間的函數。如以 S 表其所經的途徑， t 表時間， g 表引力常數，那末 S 隨 t 而變的情形可由下式表達之，

$$S = \frac{1}{2}gt^2.$$

有了這個關係，物體下墮時所處的地位，就可以推知了。

x 與 y 中間的關係常用記號表之如下：

$$y = f(x), \quad y = g(x), \quad y = F(x), \quad y = \varphi(x).$$

令 $x = a$ 則函數 $f(x)$ 之值即以 $f(a)$ 表示之。例如

$$f(x) = x^2 - 9x + 10,$$

則

$$f(a) = a^2 - 9a + 10,$$

$$f(0) = 0^2 - 9 \cdot 0 + 10 = 10,$$

$$f(3) = 3^2 - 9 \cdot 3 + 10 = -8.$$

為明瞭函數的性質起見，我們往往用製圖之法。先畫兩條互相垂直的直線，作為座標軸，其一叫做 x 軸，其他叫做 y 軸。既知 y 與 x 的函數關係 $y=f(x)$ ，那末當 x 既得一值， y 必有一值與之相應，我們把這種 x 及與之相應之 y 作為座標，就得種種不同之點，諸點相連，就得一條曲線，這條曲線叫做函數 $y=f(x)$ 的圖表。例如函數

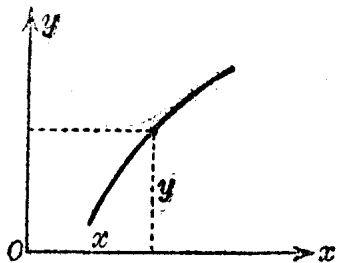


圖 3

$$y = +\sqrt{1-x^2}$$

當 $x=0$ 時， y 等於 1。 x 無論為正為負， y 始終為正。因此其圖表必居於 x 軸之上，不但如此，當 $-1 \leq x \leq 1$ 時，如將 x 換為 $-x$ ， y 之值不變，因此之故，其圖表對於 y 軸成對稱。又當 x 自 -1 漸漸變大而達於零， y 隨之變大，此時函數 y 隨 x 增大而增大。當 x 自零漸漸變大而達於 1， y 隨之變小，此時函數 y 隨 x 變大而變小。

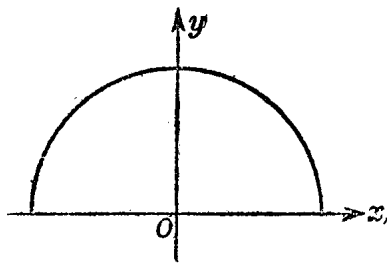


圖 4

根據這種性質，就可推知 $y = +\sqrt{1-x^2}$ 的圖表了。又如方程式

$$2xy - y + 5 = 0$$

也足以表示 y 為 x 的函數，不過並未將 y 解出罷了。這時 y 便叫做 x 的隱函數， $y=f(x)$ 便叫做 x 的顯函數。上面的隱函數也可寫成顯函數如下：

$$y = \frac{5}{1-2x}.$$

隱函數 y 與自變數 x 的關係，常用記號如 $f(x, y) = 0$ 表示之。

單調函數 設函數 $f(x)$ 在間隔 (a, b) 內之值，隨 x 增大而增大，那末在這間隔內， $f(x)$ 叫做 x 的增函數。反之，如 $f(x)$ 之值隨 x 增大而

減少，那末在這間隔內， $f(x)$ 叫做 x 的減函數。令 x_1, x_2 爲這間隔內的任意二數，若常有

$$\frac{f(x_1) - f(x_2)}{x_1 - x_2} > 0,$$

$f(x)$ 便是 x 的增函數，若常有

$$\frac{f(x_1) - f(x_2)}{x_1 - x_2} < 0,$$

$f(x)$ 便是 x 的減函數。增函數與減函數統叫做單調函數。由前例言之，函數 $y = +\sqrt{1-x^2}$ 在間隔 $(-1, 0)$ 內，爲 x 的增函數，在間隔 $(0, 1)$ 內，爲 x 的減函數。

反函數 我們若由方程式

$$y = \frac{5}{1-2x}$$

把 x 解出，則得

$$x = \frac{y-5}{2y}.$$

前者的意思表示 y 是 x 的函數，後者所表示的， x 是 y 的函數。因此之故，我們名後者爲前者的反函數。普遍言之，若將方程式中 $y=f(x)$ 的 y 視爲自變數， x 視爲因變數，於是由 $y=f(x)$ 解出 x 而得 $x=\varphi(y)$ ，那末函數 $\varphi(x)$ 就叫做 $f(x)$ 的反函數。但 $\varphi(x)$ 與 $f(x)$ 的關係是相對的，所以 $f(x)$ 也可以叫做 $\varphi(x)$ 的反函數，例如 $\log_a x$ 爲 a^x 的反函數， $\arcsin x$ 爲 $\sin x$ 的反函數， $\pm\sqrt{x}$ 爲 x^2 的反函數。

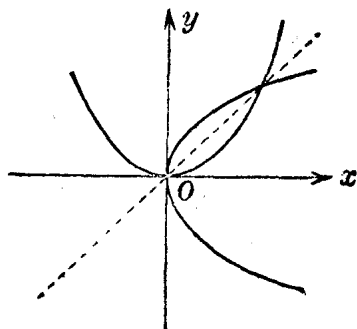


圖 5

$y=f(x)$ 與 $x=\varphi(y)$ 所代表的曲線原屬相同，今將 $x=\varphi(y)$ 中的 x 易

爲 y , y 易爲 x , 則 $y=f(x)$ 與 $y=\varphi(x)$ 所代表的曲線, 對於直線 $y=x$ 作成對稱. 圖 5 就是 $y=x^2$ 與其反函數 $y=\pm\sqrt{x}$ 所代表的曲線.

3. 初等函數

有理函數 $y=x^n$ (n 爲一正整數) 要算最簡單的函數. 又如函數

$$y=ax^3+bx^2+cx+d$$

乃由 x 與常數 a, b, c, d , 施以加減乘的運算而得, 這種函數叫做有理整函數, 或叫做多項式, 其一般形式爲

$$a_0x^n+a_1x^{n-1}+\cdots+a_{n-1}x+a_n.$$

又如函數

$$y=\frac{1}{ax+b}+\frac{x+d}{x^2+cx}.$$

乃由變數 x 與常數 a, b, c, d , 施以加減乘除的運算而得, 這種函數叫做有理分函數, 其一般形式爲

$$y=\frac{a_0x^n+a_1x^{n-1}+\cdots+a_n}{b_0x^m+b_1x^{m-1}+\cdots+b_m}.$$

如 $b_0, b_1, \cdots, b_{m-1}$ 皆等於零, 而 $b_m \neq 0$, 則函數便爲有理整函數, 所以有理整函數實在是有理分函數的特例罷了.

有理整函數與有理分函數, 統叫做有理函數.

無理函數 最簡單的無理函數爲 $y=x^{\frac{1}{n}}=\sqrt[n]{x}$ (n 爲一正整數). 又如

$$y=x+\sqrt{x^2+1}, \quad y=\sqrt[3]{\frac{1+\sqrt{x}}{1-x^2}}, \quad y=\sqrt{ax^2+bx+c}$$

都是 x 的無理函數. 這種函數皆能滿足一代數方程式如下

$$A_0(x)y^m+A_1(x)y^{m-1}+\cdots+A_m(x)=0,$$

其中 $A_0(x), A_1(x), \cdots, A_m(x)$ 皆爲 x 的有理函數. 例如

$$y=x+\sqrt{x^2+1}$$

便能滿足代數方程式

$$y^2 - 2xy - 1 = 0.$$

有理函數 $y=f(x)$ 顯然也能滿足一代數方程式。有理函數與無理函數統叫做代數函數。

我們在 §2 已經說明方程式

$$F(x, y) = y^2 - 2y + x^2 = 0.$$

也足以表示 y 爲 x 的函數，今與 x 以一定值 ($-1 \leq x \leq 1$)， y 便得二相應值

$$y = 1 \pm \sqrt{1 - x^2},$$

在這種情形， y 叫做 x 的二值函數。

設 y 爲 x 的函數，若 x 之值既定， y 祇有一值與之相應，那末 y 就叫做 x 的單值函數。若 x 之值既定，而 y 有數個值與之相應，那末 y 就叫做 x 的多值函數。

例如有理整函數是單值函數， $\pm\sqrt{x}$ 是二值函數， $\arcsin x$ 是多值函數。本書以後所謂函數，都指單值函數而言。

三角函數 在高等數學中，角度的單位多用弧度，本書以後計算角的大小，都用這個單位。

設以 O 爲圓心，以 1 爲半徑作一圓，取圓上二點 A, B ，使 AB 弧之長等於 1。取 $\angle AOB$ 作爲角度的單位，這個單位便叫做一弧度。當半徑等於 1 時，圓周之長等於 2π ，所以全圓周 360° 等於 2π 弧度， 180° 等於 π 弧度，

90° 等於 $\frac{\pi}{2}$ 弧度，

$$1 \text{ 弧度} = \frac{180^\circ}{\pi} = 57^\circ 17' 45''$$

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} = 0.017453 \text{ 弧度}.$$

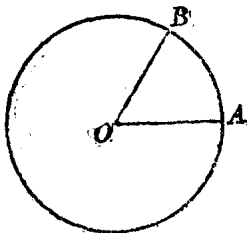


圖 3

三角函數 $\sin x$, $\cos x$, $\tan x$, $\cot x$, $\sec x$, $\operatorname{cosec} x$ 也叫做週期函數, 因為把 x 換為 $x+2\pi$ 或 $x-2\pi$, 函數之值依然不變, 其中 $\tan x$,

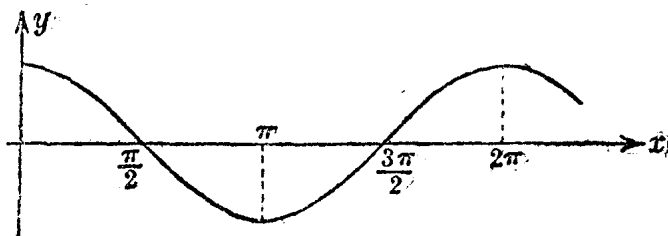


圖 7

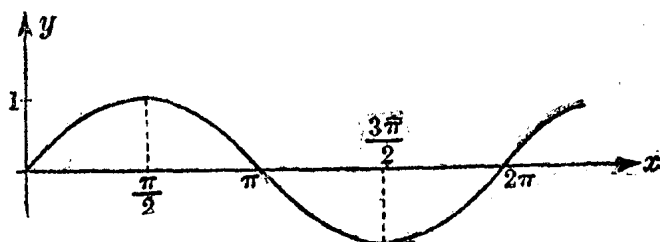
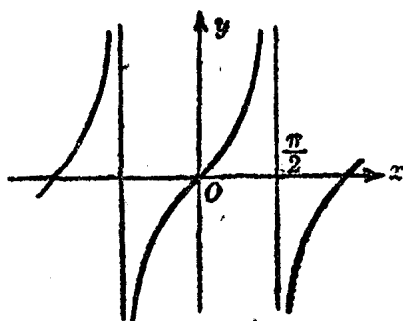


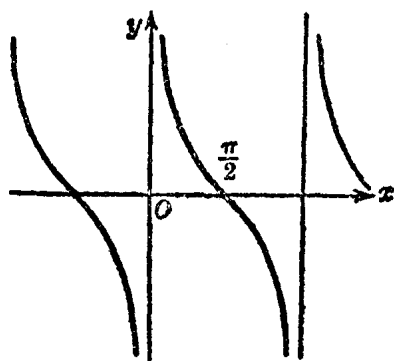
圖 8

$\cot x$, 二函數, 如將 x 換為 $x \pm \pi$, 函數之值仍不變,



$$y = \tan x$$

圖 9



$$y = \cot x$$

圖 10