

⑮
48-52

高次广义参数单元及其应用 The Quintic Generalized Coefficient Element and Its Applications

杨绿峰
Yang Lufeng

李桂青
Li Guiqing

0242.21

(广西大学土木系 南宁市西乡塘路10号 530004)
(Dept. of Civil Engineering, Guangxi University,
10 Xixiangtang Road, Nanning, Guangxi, 530004)

(武汉工业大学 湖北武汉 430070)
(Wuhan University of Technology,
Wuhan, Hubei, 430070)

秦荣
Qin Rong

(广西大学土木系 南宁市西乡塘路10号 530004)
(Dept. of Civil Engineering, Guangxi Univ., 10 Xixiangtang Road, Nanning, Guangxi, 530004)

A 摘要 利用5次插值样条函数, 将二阶 Hermite 梁单元加以改进, 使其具有明确含义的结点参数广义化, 从而使高阶单元能够应用于曲率不连续的变截面梁、板、壳等结构中, 算例表明这种高阶广义参数单元不仅保持了5次 Hermite 单元及5次样条函数的优点, 并且克服了其不能直接应用于曲率不连续的变截面结构中的缺点。

关键词 有限元 样条函数 广义参数单元, 样条有限元

Abstract The quintic B-spline functions were used to adapt the common hermite beam element into a new kind of generalized quintic element. This new kind of high-order element has generalized nodal coefficients, and can be used to compute the beams whose curvity are uncontinuous. Examples in this paper show that the high-order generalized element keeps both the merits of quintic hermite elements and spline functins.

Key words finite element, spline functions, generalized coefficient

有限单元法具有适应性强而获得广泛应用, 其中的高阶协调元(如二阶 Hermite 单元)尽管精度较高, 但由于自由度太多而影响了计算效率, 更为致命的缺陷是, 梁板结构中的二阶 Hermite 单元由于含有位移的二阶导数作为结点参数, 所以不能直接应用于曲率不连续的变截面梁板结构中。

样条函数作为分段多项式, 具有极强的连续性, 待定系数少, 逼近精度高, 因而在最近 10 余年中, 逐渐成为结构分析的重要手段, 从插值方式看, 以变分原理为基础的样条能量法大体包括如下 2 类方法:

第一是样条有限点(元)法, 样条有限点法^[1]是一种样条半离散方法, 这一方法往往采用一个方向的

样条插值函数与另一正交方向的连续级数的乘积作为场函数, 可见, 这一方法是建立于里兹法、康托洛维奇方法及样条函数方法基础上, 吸取了有限条法的成功之处, 具有精度高、未知量少的优点, 样条有限元法^[2]则是样条全离散方法, 它采用 2 个正交方向的样条插值函数的乘积(即二重样条)作为场函数, 这一方法建立于里兹法基础上, 吸取了有限元法的优点, 与有限元法相比, 计算效率(从计算精度和自由度两方面考虑)比较高, 但是, 样条有限点(元)法由于以 Ritz 变分法为基础采用样条函数对求解域进行整体插值, 所以只适用于形状规则的结构, 需要指出的是, 这一类方法对于变截面梁板结构不便于应用。

第二类样条有限元^[1]由龙驭球等人提出, 它建立于有限元法和样条函数方法基础上, 利用样条函数进

1996-07-16 收稿。

行局部插值, 建立单元场函数, 从而获得高精度的有限单元. 这一方法对求解域边界形状的适应能力大为提高. 但是, 由于样条函数在单元内是分段多项式, 使得单元的自由度增加. 特别应指出的是, 由于此类单元的结点位移参数中出现位移的高阶导数, 所以这类单元往往无法直接应用于变厚度结构中(如二次样条单元不能应用于厚度有变化的弹性力学平面问题, 三次样条单元不能直接应用于变厚梁、板弯曲问题中). 因而, 可以认为, 这类样条单元完全秉承了高阶 Hermite 单元的优缺点.

本文提出的 5 次广义参数有限元, 将上述样条函数方法与 5 次 Hermite 单元结合起来. 首先将结构离散, 利用 5 次 Hermite 函数进行局部插值, 建立高阶 Hermite 单元, 以充分利用高次单元精度高, 对边界形状适应性强的优点. 然后根据结构的离散情况, 取离散结点(线)作为配点进行样条整体插值, 从而将具有明确含义的结点参数广义化. 这样就继承了第一类样条能量方法计算效率高、第二类样条单元适应能力强的优点. 同时克服了高次单元的缺点(即不能直接应用于曲率不连续的变截面结构中).

1 高次广义参数有限元

本文以弹性直梁为例, 说明广义参数有限元的计算格式及特点.

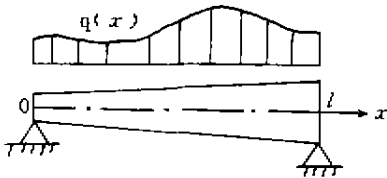


图 1 Fig. 1

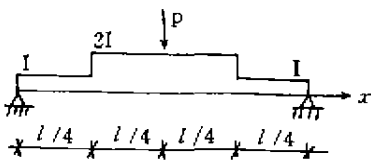


图 2 Fig. 2

图 1 所示为一弹性直梁. 根据荷载和梁的几何形状在区间 $[0, l]$ 上给定一个分划 $\Delta 1$:

$$\Delta 1: 0 = x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_n = l$$

对于(任二个相邻结点 x_i, x_{i+1} 之间的)某一单元 e , 利用 5 次 Hermite 函数建立单元的位移场:

$$w^e = [H] \{\delta\}^e \quad (1)$$

广西科学 1996 年 11 月 第 3 卷第 4 期

式中,

$$\{\delta\}^e = [w_i^e, \theta_i^e, \chi_i^e, w_{i+1}^e, \theta_{i+1}^e, \chi_{i+1}^e]^T \quad (1.a)$$

$$[H] = [H_1, H_{11}, H_{12}, H_2, H_{21}, H_{22}] \quad (1.b)$$

这里,

$$\theta_i^e = \frac{dw^e(x_i)}{dx}, \chi_i^e = \frac{d^2w^e(x_i)}{dx^2} \quad (i, j) \quad (2)$$

$$H_1 = 1 - 10\zeta^3 + 15\zeta^4 - 6\zeta^5;$$

$$H_2 = 10\zeta^3 - 15\zeta^4 + 6\zeta^5;$$

$$H_{11} = (\zeta - 6\zeta^3 + 8\zeta^4 - 3\zeta^5)h;$$

$$H_{21} = (-4\zeta^3 + 7\zeta^4 - 3\zeta^5)h;$$

$$H_{12} = \frac{1}{2}(\zeta^2 - 3\zeta^3 + 3\zeta^4 - \zeta^5)h^2;$$

$$H_{22} = \frac{1}{2}(\zeta^3 - 2\zeta^4 + \zeta^5)h^2; \quad (3)$$

式中, $h = x_j - x_i$ 表示单元 e 的长度, 且 $\zeta = (x - x_i)/h$.

根据常规有限元法, 易于建立单元 e 的刚度方程.

$$[K]^e \{\delta\}^e = \{F\}^e \quad (4)$$

式中, $[K]^e$ 是刚度矩阵, $\{F\}^e$ 是荷载列阵. $\{\delta\}^e$ 同式(1.a)

现在, 我们在区间 $[0, a]$ 上以结点 x_i 为样条插值节点, 建立 5 次 B 样条函数, 并对梁的挠度函数 w 作样条插值逼近:

$$w = \sum_{i=-2}^{n+2} \Phi_i(x) c_i = [\Phi] \{c\} = [\varphi][Q] \{c\} \quad (5)$$

式中:

$$\{c\} = [c_{-2}, c_{-1}, c_0, \dots, c_{n+2}]^T \quad (5a)$$

$$\{\varphi\} = [\varphi_{-2}, \varphi_{-1}, \varphi_0, \dots, \varphi_{n+2}] \quad (5b)$$

$$[\Phi] = [\varphi][Q] \quad (5c)$$

这里, $\Phi_i (i = -2, -1, 0, \dots, n+2)$ 是利用 φ 线性组合而成, $\varphi_i(x)$ 表示 $\varphi_{i,j}(x)$, 是 5 次 B 样条函数. 它是根据区间 $[0, l]$ 上的分划 $\Delta 1$ 建立的, 具有如下表达式:

$$\varphi_{i,j}(x) = (x_{i+3} - x_{i-3}) \sum_{k=i-3}^{i+3} \frac{(x_k - x)^3}{W'_{6,i}(x_k)} \quad (6)$$

式中, $W'_{6,i}(x)$ 表示函数 $W_{6,i}(x)$ 对 x 的一阶导数, 且有:

$$W_{6,i}(x) = \prod_{j=-3}^3 (x - x_{i+j})$$

特殊地, 若 $\Delta 1$ 取为均匀剖分($\Delta 2$) 时, 即

$$\Delta 2: 0 = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$$

$$x_i = x_0 + ih, \quad h = b/n$$

则有:

$$\varphi_{3,i}(x) = \begin{cases} 0, & x \in [x_{i-3}, x_{i+3}] \\ (x - x_{i-3})^5, & x \in [x_{i-3}, x_{i-2}] \\ (1 - x_{i-2})^5 - 6(x - x_{i-2})^5, & x \in [x_{i-2}, x_{i-1}] \\ \frac{1}{120h^5} [(x - x_{i-3})^5 - 6(x - x_{i-2})^5 + 15(x - x_{i-1})^5], & x \in [x_{i-1}, x_i] \quad (6a) \\ (x_{i+3} - x)^5 - 6(x_{i+2} - x)^5 + 15(x_{i+1} - x)^5, & x \in [x_i, x_{i+1}] \\ (x_{i+3} - x)^5 - 6(x_{i+2} - x)^5, & x \in [x_{i+1}, x_{i+2}] \\ (x_{i+3} - x)^5, & x \in [x_{i+2}, x_{i+3}] \end{cases}$$

式(5c)中, $[Q]$ 是样条基转换矩阵^[5], 它应保证 Φ 在梁的两端具有基特性, 使得 $c_{-2} = w(x_0), c_{-1} = \theta(x_0), c_i = \chi(x_0), c_n = w(x_n), c_{n+1} = \theta(x_n), c_{n+2} = \chi(x_n)$. $[Q]$ 的具体形式应根据区间 $[0, l]$ 上的分割 Δ_1 而定. 例如对应于均匀分割 Δ_2 :

(1) 当 $n \geq 3$ 时

$$[Q] = \text{diag}([Q_0], [I], [Q_n]) \quad (7)$$

式中, $[I]$ 为 $n-5$ 阶单元矩阵.

$$[Q_0] = \begin{bmatrix} \frac{50}{3} & 16h & \frac{55}{6}h^2 & -\frac{40}{3} & -\frac{7}{3} \\ -\frac{5}{3} & -4h & -\frac{11}{12}h^2 & \frac{7}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{20}{9} & \frac{4}{3}h & \frac{2}{9}h^2 & -\frac{10}{9} & -\frac{1}{9} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[Q_n] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{9} & -\frac{10}{9} & \frac{20}{9} & -\frac{4}{3}h & \frac{2}{9}h^2 \\ \frac{1}{3} & \frac{7}{3} & -\frac{5}{3} & 4h & -\frac{11}{12}h^2 \\ -\frac{7}{3} & -\frac{40}{3} & \frac{50}{3} & -16h & \frac{55}{6}h^2 \end{bmatrix}$$

(2) 当 $n = 1$ 时,

$$[Q] = \begin{bmatrix} 123 & \frac{332h}{5} & \frac{329h^2}{20} & -122 & \frac{368h}{5} & -\frac{73h^2}{10} \\ -22 & -\frac{68h}{5} & -\frac{23h^2}{10} & 23 & -\frac{52h}{5} & \frac{29h^2}{20} \\ 13 & \frac{32h}{5} & \frac{19h^2}{20} & -12 & \frac{28h}{5} & -\frac{4h^2}{5} \\ -12 & -\frac{38h}{5} & -\frac{4h^2}{5} & 13 & -\frac{32h}{5} & \frac{19h^2}{20} \\ 23 & \frac{52h}{5} & \frac{29h^2}{20} & -22 & \frac{68h}{5} & -\frac{23h^2}{10} \\ -122 & -\frac{368h}{5} & -\frac{73h^2}{10} & 123 & -\frac{332h}{5} & \frac{329h^2}{20} \end{bmatrix} \quad (7b)$$

(3) 当 $n = 2$ 时

$$[Q] = \begin{bmatrix} 22.5 & 19.5h & \frac{39h^2}{4} & -11 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{119}{44} & -\frac{1017h}{220} & -\frac{449h^2}{440} & 2 & -\frac{9}{44} & \frac{27h}{220} & -\frac{9h^2}{440} \\ \frac{30}{11} & \frac{18h}{11} & \frac{3h^2}{11} & -1 & \frac{5}{22} & -\frac{3h}{22} & \frac{h^2}{44} \\ -\frac{21}{44} & -\frac{63h}{220} & -\frac{21h^2}{440} & 1 & -\frac{21}{44} & \frac{63h}{220} & -\frac{21h^2}{440} \\ \frac{5}{22} & \frac{3h}{22} & \frac{h^2}{44} & -1 & \frac{30}{11} & -\frac{18h}{11} & \frac{3h^2}{11} \\ -\frac{9}{44} & -\frac{27h}{220} & -\frac{9h^2}{440} & 2 & -\frac{119}{44} & \frac{1017h}{220} & -\frac{449h^2}{440} \\ 0 & 0 & 0 & -11 & \frac{45}{2} & -\frac{39h}{2} & \frac{39h^2}{4} \end{bmatrix} \quad (7c)$$

由于 $[Q]$ 是常数阵, 在格式推导中可暂不考虑, 而仅在最后的刚度方程中加入 $[Q]$ 的影响. 事实上, 我们完全可以将式(5)中的 $([Q]\{c\})$ 当作一个参数列阵看待.

根据式(1.a)、式(2)及式(5)易于得出参数 $\{\delta\}$ 和 $\{c\}$ 之间的关系式:

$$\{\delta\}^e = [w_i^e \quad \theta_i^e \quad \chi_i^e \quad w_{i+1}^e \quad \theta_{i+1}^e \quad \chi_{i+1}^e]^T$$

$$= \begin{bmatrix} \varphi_{-2}(x_i) & \varphi_{-1}(x_i) & \varphi^0(x_i) & \varphi_1(x_i) & \varphi_{+1}(x_i) & 0 \\ \varphi_{-2}'(x_i) & \varphi_{-1}'(x_i) & \varphi^0(x_i) & \varphi_1'(x_i) & \varphi_{+1}'(x_i) & 0 \\ \varphi_{-2}''(x_i) & \varphi_{-1}''(x_i) & \varphi^0(x_i) & \varphi_1''(x_i) & \varphi_{+1}''(x_i) & 0 \\ 0 & \varphi_{-1}(x_j) & \varphi^0(x_j) & \varphi_1(x_j) & \varphi_{+1}(x_j) & \varphi_{+2}(x_j) \\ 0 & \varphi_{-1}'(x_j) & \varphi^0(x_j) & \varphi_1'(x_j) & \varphi_{+1}'(x_j) & \varphi_{+2}'(x_j) \\ 0 & \varphi_{-1}''(x_j) & \varphi^0(x_j) & \varphi_1''(x_j) & \varphi_{+1}''(x_j) & \varphi_{+2}''(x_j) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{i-2} \\ c_{i-1} \\ c_i \\ c_i \\ c_{i+1} \\ c_{i+2} \end{bmatrix}$$

$$= [T]\{c\}^e \quad (8)$$

式中,

$$\{c\}^e = [c_1^e \quad c_2^e \quad c_3^e \quad \dots \quad c_1^e]^T$$

$$= [c_{i-2} \quad c_{i-1} \quad c_i \quad c_i \quad c_{i+1} \quad c_{i+2}]^T \quad (8a)$$

将式(8)代入式(1)中, 得:

$$w^e = [H][T]\{c\}^e = [N]\{c\}^e \quad (9)$$

式中:

$$[N] = [H][T] = [N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad \dots \quad N_6] \quad (9a)$$

根据 $[H]$ 及 $[T]$, 不难求出 $N_i (i=1, 2, \dots, 6)$ 的具体形式. 例如, 对应于均匀剖分 Δ_2 . 根据式(6.a)、式(3)及式(9.a)易于得到:

$$N_1 = \frac{1}{120}(1 - \zeta)^5,$$

$$N_2 = \frac{1}{120}(26 - 50\zeta + 20\zeta^2 + 20\zeta^3 - 20\zeta^4 + 5\zeta^5)$$

$$N_3 = \frac{1}{60}(33 - 30\zeta^2 + 15\zeta^4 - 5\zeta^5),$$

$$N_4 = \frac{1}{60}(13 + 25\zeta + 10\zeta^2 - 10\zeta^3 - 10\zeta^4 + 5\zeta^5)$$

$$N_5 = \frac{1}{120}(1 + 5\zeta + 10\zeta^2 + 10\zeta^3 + 5\zeta^4 - 5\zeta^5),$$

$$N_6 = \frac{1}{120}\zeta^5 \quad (9b)$$

利用式(9a), 可得几何矩阵:

$$[B] = -\frac{d^2}{dx^2}[N] = -\frac{1}{h^2}[N_1'' \quad N_2'' \quad \dots \quad N_6''] \quad (10)$$

这里, N'' 表示 N 对 ζ 求导二次.

利用变分原理, 根据式(9)、(10) 可以建立单元 e 的刚度方程:

$$[G]^e \{c\}^e = \{P\}^e \quad (11)$$

式中,

$$[G]^e = \int_0^1 D[B]^T [B] h d\zeta \quad (11a)$$

3 动力及稳定分析中的高次样条元

若图1所示直梁受到纵向荷载 N 作用, 则在直梁单元的总势能泛函中要增加一项纵向力 N 的势能.

$$V_N = - \int_{z_1}^{z_2} \frac{1}{2} N \left(\frac{dw^e}{dx} \right)^2 dx \quad (12)$$

据此可导出直杆稳定问题的特征方程:

$$|[G]^e - N_e [K]^e| = 0 \quad (13)$$

式中, $[K]^e$ 是几何刚度矩阵, 且有:

$$[K]^e = \int_0^1 [N']^T [N'] \frac{1}{h} d\zeta \quad (14)$$

这里, $[N']$ 表示式(9a) 所示的函数 N 对 ζ 求一阶导数.

结构动力分析^[2] 中总要涉及到质量矩阵 $[M]^e$.

$[M]^e$ 的表达式为:

$$[M]^e = \int_0^1 \bar{m} [N]^T [N] h d\zeta \quad (15)$$

这里, \bar{m} 表示单位长度梁的质量.

相应于均匀分割 Δz , $[G]^e$ 、 $[K]^e$ 、 $[M]^e$ 的显式为:

$$[G]^e = \frac{D}{5040h^3} \begin{bmatrix} 20 & 89 & -178 & 10 & 58 & 1 \\ & 752 & -958 & -638 & 697 & 58 \\ & & 1832 & -68 & -638 & 10 \\ & & & 1832 & -958 & -178 \\ & & & & 752 & 89 \\ & & & & & 20 \end{bmatrix}$$

$$[K]^e = \frac{1}{362880h} \begin{bmatrix} 70 & 1051 & 460 & -1330 & -250 & -1 \\ & 20638 & 19726 & -30220 & -10945 & -250 \\ & & 47248 & -35884 & -30220 & -1330 \\ & & & 47248 & 19726 & 460 \\ & & & & 20638 & 1051 \\ & & & & & 70 \end{bmatrix}$$

$$[M]^e = \frac{\bar{m}h}{39916800} \begin{bmatrix} 252 & 9113 & 29558 & 15498 & 1018 & 1 \\ & 397416 & 1558706 & 1072186 & 121641 & 1018 \\ & & 7464456 & 6602476 & 1072186 & 15498 \\ & & & 7464456 & 1558706 & 29558 \\ & & & & 397416 & 9113 \\ & & & & & 252 \end{bmatrix}$$

4 算例

例1 弹性匀质梁, 全长 L , 两端简支, 中点受横向集中荷载作用. 梁的横截面呈梯级变化, 靠近左右两端各 $L/4$ 长的梁横截面惯性矩为 I , 中部 $L/2$ 长的梁横截面惯性矩为 $2I$ (如图2示). 将左半梁划分为4个单元, 计算跨中及 $L/4$ 处挠度和弯矩, 结果见表1.

表1 集中荷载作用下弹性直梁的挠度和弯矩
Table 1 Deflections and bending moments of the elastic beam

方法 Method	1/4 点 Central point		1/2 点 Central point	
	w	M	w	M
FSEM	0.0833	0.1254	0.0116	0.2459
解析解 Exact solution	0.0846	0.1250	0.0117	0.2500
乘子 Multiplier	PL^3/EI	PL	PL^3/EI	PL

例2 受均布荷载 q 作用的弹性直梁 (如图1所示), 横截面厚度沿 x 轴方向线性增加, 从 $x=0$ 端的 h_0 增至 $x=l$ 时的 $2h_0$. 利用高次广义参数单元计算跨中挠度和弯矩. 计算时, 假定各单元的厚度保持不变, 即以梯级变化逼近线性变化, 以简化计算. 计算结果见表2.

表2 均布荷载作用下变厚度弹性直梁跨中挠度和弯矩
Table 2 Deflections and bending moments of variable thickness slab under

方法 Method	单元数 Total number of elements	自由度 Degree of freedom	两端简支 Two ends simply supported		两端固定 Two ends clamped	
			$w_{\text{中}}$ w_{centre}	$M_{\text{中}}$ M_{centre}	$w_{\text{中}}$ w_{centre}	$M_{\text{中}}$ M_{centre}
5次广义参数单元 Quintic element with generalized coefficients	2	7	0.004205	0.1233	0.0007974	0.03891
	6	11	0.004183	0.1245	0.0007967	0.03783
	20	25	0.004195	0.1250	0.0008068	0.03775
解析解 Exact solution			0.004196	0.1250		
乘子 Multiplier			D_0/ql^4	ql^2	D_0/ql^4	ql^2

D_0 表示梁左端点的抗弯刚度 D_0 denotes the flexural rigidity at the left end of the beam.

5 结语

式(11)所示的单元刚度方程与式(4)所示单元刚度方程都是由6个平衡方程组成的。二者之间的根本区别在于单元自由度的含义上。式(4)中, $\{\delta\}^e$ 是由单元 e 的两个结点 i, j 的横向位移 w 、转角 θ 及曲率 χ 所组成; 而式(11)中, 组成 $\{c\}^e$ 的6个参数没有任何几何或物理意义, 它们是广义的。这6个广义参数 $c_i (i = 1, 2, \dots, 6)$ 同样条插值节点参数 $c_k (k = i - 2, i - 1, \dots, j + 2)$ 之间存在着式(8a)所示的一一对应关系。这就决定了两类单元性能上的区别。5次(二阶)Hermite单元在公共结点上不但挠度、转角相等, 而且曲率也连续。所以这种单元不能直接应用于曲率不连续的变厚度梁、板等结构中。因而尽管这种单元的计算效率(自由度与精度的综合比较)要比低阶单元高, 但使用范围上的局限影响了它的应用, 是其致命的缺陷。而广义参数高阶单元则不存在这个问题。除此之外, 自由度在含义上的不明确性带来了另外一大优点: 结构的高散自由度大大减少。尽管5次广义参数单元(本文由于采用样条函数形成此类单元, 故

可以称之为样条元)的两个端点同5次Hermite单元一样共有6个自由度, 但样条元的自由度都相应地与某个样条插值参数 c_i 通过式(8a)联系起来。这就大大增加了相邻样条元之间的共用自由度。某些即便不相邻的样条元也可能拥有同样的结点参数。因而在同样的分划下, 特别是当离散单元个数较多时, 使用Hermite单元时的自由度要大大超过样条元的自由度。同时, 从算例可以看出, 5次广义参数元仍保持高阶单元所具有的高精度特性。

另外, 在截面突变处, 弯矩应取左右两相邻单元在此处弯矩值的平均。

参考文献

- 1 秦荣. 结构力学的样条函数方法. 南宁: 广西人民出版社, 1985.
- 2 李桂青. 抗震结构的计算理论和方法. 北京: 地震出版社, 1985.
- 3 石钟慈. 样条有限元. 计算数学, 1979, (1), 50~72.
- 4 龙驭球. 新型有限元引论. 北京: 清华大学出版社, 1992.
- 5 杨绿峰等. 薄板弯曲分析中的有限样条元法. 广西大学学报, 1995, (3): 228~232.

(责任编辑: 邓大玉 蒋汉明)

(上接第47页 Continue from page 47)

的前提下, 大大地简化了操作步骤, 使原来要2d~3d完成的工作, 在4h内可办到, 且其中绝大部分时间为机器操作。另外, 由于一步法RT-PCR的整个操作过程可在一只管内完成, 极大地减少了因移液和开盖而造成污染的可能性, 使假阳性率降低到最小程度。我们曾试图将Sabin 11、Sabin 12、Sabin 21、Sabin 22、Sabin 31和Sabin 32引物预混于同一管, 以期对PV1、PV2、PV3同时检测, 但效果不佳, 出现某型PV因竞争干扰未被检出的问题。

该技术通过下面3个途径来降低实验费用: (1) 省略RNA提取步骤, 避免使用提纯试剂, 特别是DS裂解液中用量大价格贵的进口试剂异硫氰酸胍; (2) 除AMV逆转录酶目前尚无国产外, 其余均为国产试剂; (3) 将原先RT 20 μ L和PCR 100 μ L合并缩减至RT-PCR 20 μ L, 使得AMV逆转录酶的用量由8.5 u降至2 u, Tag酶由2 u降至1 u, RNasin由40 u降至15 u, 引物和4 \times dNTP的用量分别减少了1/6和1/7, 因此实验费用由原来的常规法约50元降低到一

步法的约10元。

在本方法的基础上, 我们还研制了PCR检测PV RNA的试剂盒, 使用起来更为方便。

参考文献

- 1 Da Silva E E et al. Oligonucleotide probes for the specific detection of the wild poliovirus type 1 and 3 endemic to Brazil. Intervirology, 1991, 32: 149.
- 2 孔健等. RT-PCR用于脊髓灰质炎病毒的检测及定型. 中华微生物学和免疫学杂志, 1993, 13(6): 399.
- 3 古绍文等. 应用聚合酶链反应(PCR)作脊髓灰质炎病毒定型及型内分析的初步研究. 广西医学, 1994, 16(2): 116.
- 4 Chomczynski P et al. Single step method of RNA isolation by acid guanidium thiocyanate-phenol chloroform extraction. Anal Biochem, 1987, 162: 156.
- 5 Toyoda H et al. Complete nucleotide sequences of all three poliovirus serotype genomes; implication for genetic relationship, gene function and antigenic determinants. J Mol Biol, 1984, 174: 561.

(责任编辑: 蒋汉明 邓大玉)