对于大多数的混凝土，泊松比为 0.20 左右，将它代入上式，得

$$v_p = \frac{2}{3}\sqrt{6}v_s, \tag{2.11}$$

即纵波速度是横波速度的$\frac{2}{3}\sqrt{6}$倍。所以，对于超声波透射法观测到的首波信号为纵波。不同的混凝土之间在密度和力学及变形参数上都存在着差异，超声波在其中的传播的速度必然不同，而构成了混凝土力学的物理基础。

2.3 超声波信号处理的基础知识

超声波信号处理主要研究频谱分析，超声频谱分析法在 50 年代末由 Krauthramer 提出的。60 年代，Whaley 和 Cook 建立了第一个超声频谱分析系统。70 年代，很多学者侧重于超声场和缺陷相互作用机理的研究。到目前为止，在超声频谱分析的理论和实验研究方面，国内外均做了不少的工作。一个复杂的周期振动波形可用傅立叶级数分解为许多谐波分量，而每一个谐波分量可由其振幅和相位来表征。各次谐波按其频率高低依次排列成为谱状，这样排列的各次谐波的总体称为频谱。有相位谱、幅度谱和功率（能量）谱。通过频谱分析可以得知超声波信号中的各个频率成分和频率分布的范围；还可得到振动参量各个频率成分的幅值分布、相位谱和能量分布，从而得到主要幅度、相位和能量分布的频率值。这些工作表明，超声频谱分析法可以从对通过缺陷波的频谱包络形状的分析中，得到多于常规超声检测的可用信息，能较好地确定缺陷的种类和性质，从而减少了检测中的主观因素，提高了检测结果的可信度。

2.3.1 超声频谱分析法原理

超声频谱分析法的原理，该系统可以认为是线性的，系统模型可用图 2-3 来表示。来自均匀介质中某个缺陷的超声直达波经过整个系统送入频谱分析仪的信号为 $V_2(t)$, $V_2(t)$的傅立叶变换为

$$V_2(f)=\int_{-\infty}^{\infty} V2(t)e^{-j2\pi t}d(t) \tag{2.12}$$

$V_2(f)$包含实部和虚部两部分，也可以分为幅值谱 $|V_2(f)|$ 和 相位谱 $\angle V_2(f)$。前者是总信号强度的度量，而后者则代表了测试材料依赖于频率的延迟特性。在超声探测的研究中，一般只利用幅值谱，虽然相位谱中也有不少信息可以丰富这一研究，但往往受客观条件的限制。

从图 2-3 可见，频谱分析仪所显示的缺陷波频谱可表示为

$$V_2(f)= V_1(f)\,B_1(f)\,X_1(f)\,C_1(f)\,M_1(f)\,M_2(f).\,C_2(f)\,X_2(f)\,B_2(f)\,G(f)\,D(f) \tag{2.13}$$

在一定检测条件下，（2.13）式可写成

$$V_2(f)= T(f)\ R(f)\ D(f) \tag{2.14}$$

其中

$$T(f)= V_1(f)\ B_1(f)\ X_1(f)\ C_1(f)\ M_1(f) \tag{2.15}$$

$$R(f)= M_2(f)\ C_2(f)\ X_2(f)\ B_2(f)\ G(f) \tag{2.16}$$

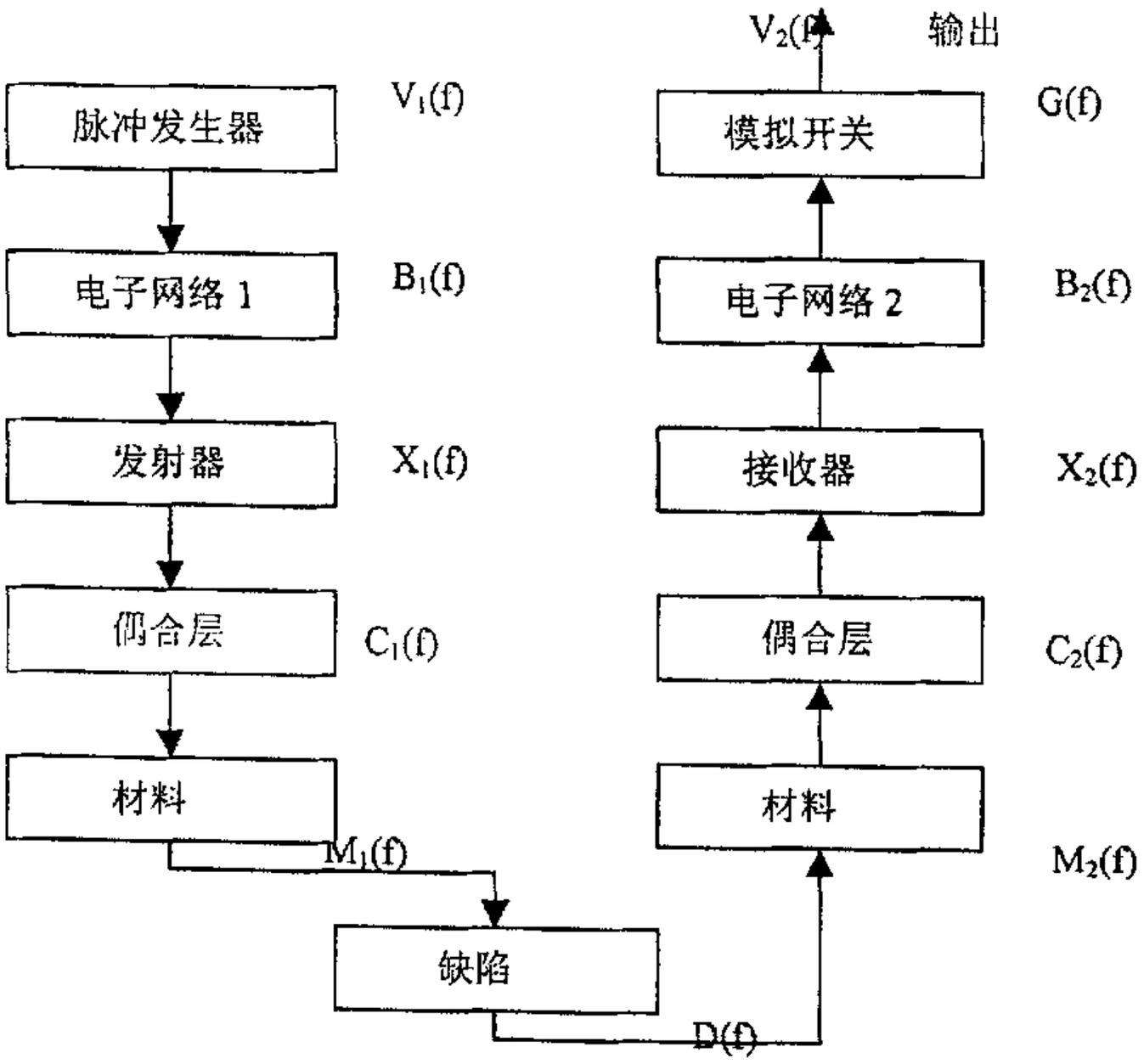


图 2-3 理论模型

T(f)和 R(f)是恒定、平滑的。

$V_2(f)$受 D(f)的影响而呈现出不同于 T(f).R(f)的变化，而 D(f)在一定检测条件下依赖于缺陷的性质。由(3)式可以看出，缺陷波频谱取决于一定检测条件下缺陷性质与 D(f)的关系，以及对于不同的检测条件下 T(f).R(f)产生畸变的规律。

2.3.2 线性调频 Z 变换（Chirp-zt）的原理

对信号作傅立叶变换的结果，等效于 z 变换在单位圆上的全部等间隔采样值。但是，在很多场合并不需要整个单位圆上的频谱或者有时突出整个单位圆上某一频段内的频谱。例如，对于窄带信号过程，往往只需对信号所在的一段频带内，而对频带以外的部分则可以完全不管。

这种只在某一特定频带内进行傅立叶变换也称为 Chirp-z 变换，它是沿 z 平面上的一段螺旋线作分角的采样，这样的采用点可表达为：