由于我们是在桩顶量取各测管对的距离做为它们的间距，所以当桩头处的混凝土为正常时，在此处测的声时、声幅值就是各对测管的声时 、声幅的标准值TB、声幅值 AB。若桩头处的混凝土有缺陷，则可在桩顶下 2-4 米以范围内选取声幅离差的绝对值小于 6 分贝的几个测点的声时、声幅的平均值做为 TB、AB。当缺陷出现在测管有严重弯斜的部位，即使混凝土正常其声幅值，也会高于或低于 AB 值。所以也不能以 AB 减 6 分贝做为该处的缺陷临界值；而应以该处缺陷体前一点的声幅值做为相对标准声幅 AC，并以它减 6 分贝做为缺陷临界值去搜索缺陷点。因此，在测管严重弯斜的管对中用 A(I)-AB>=6 或以及 T(I)-T(I-1)>=2*ST 做为判定缺陷点的条件。

此外，在测管弯斜影响校正时，还必须考虑在缺陷处测管的进一步靠近或远离产生的声时减小或增大所引起异常幅度的降低或增高，并设法加以消除，以恢复桩身缺陷原有异常值。

以上各点，我们均在所编的测管弯斜影响的自动校正程序中采取了有效措施，做到了既消除了测管弯斜的影响，就保留了桩身缺陷异常原始有用数据，确保缺陷体定性、定量推断的正确无误。

4.4 桩身各类缺陷的判别式

4.4.1 桩身缺陷的定性 、定量推断程序的作用与编写思路

桩身缺陷一般可分蜂窝 、孔洞 、离析（低强度 、低速度 、疏松）、断裂层等四类。这四类缺陷对超声波能量的吸收、散射都很明显，所以都能满足声幅偏差大于 6 分贝的缺陷临界值条件，而它们引起的声时增大则有显著的差异，所以，应以声时的偏差值的大小去具体区分它们。

4.4.1.1、蜂窝类缺陷的判别式

这类缺陷包括混凝土中含有分散的泥砂小团块；含有分散的充水小孔隙；含有分散的浮渣（浆）小团块。概括而言，就是混凝土中含有分散的小体积的低密度、低强度的异物。其基本特点是正常混凝土占砼的绝大部分，因而有部分超声波可以沿直线或者只需少许绕射就可以达到对面的接受换能器。所以，蜂窝类缺陷的声速可以达到正常砼声速的 85%以上,而且其缺陷体一般为等轴形。我们假设缺陷体的纵向尺寸为 D_H, 声时离差为 $D_T(f)$,正常砼的波速为 V_b,声幅离差为 $D_A(f)$,此类缺陷的判别式为：

$$D_T(f) < D_H \frac{1/0.85 - 1}{V_b} \tag{4-2}$$

$$D_T(f) < 0.176 * D_H / V_b \tag{4-3}$$

$$D_A(f)>6db \tag{4-4}$$

（4-2）式的物理意义是：桩身的蜂窝类引起的声时偏差小于以正常声速通过缺陷体纵向尺寸所需要声时的 0.176 倍；

（4-4）式的物理意义是蜂窝类缺陷的声幅比正常砼声幅的一半还小。

关于此类缺陷体一般为等轴状的设想是基于如下理由：产生此类缺陷的配料不当或漏震是偶然发生的人为过失，一般只发生在一次搅拌的注料中或存在于钢筋密集交汇处，不可能成水平或垂直的层状缺陷，而井壁掉下的泥、砂，若只有以分散的小团块混杂于正常砼体之中，形成此类缺陷，说明了不仅所掉下的量少，并且只是偶尔松落，也不能形成层状缺陷；小团块状浮渣、浮浆散布于正常砼体之中形成此类缺陷，多半是其在向上滚翻和上浮过程中受水平钢筋交会处的阻碍而滞留其下，因而更不可能形成层状缺陷，所以“等轴体”的设想具有一定的合理性。用（4-2）式作为正常检测资料的缺陷性质判断公式是可以的，而且实践证明也是有效的。如需进一步核实其性质，可以在该缺陷处进行加密平测和斜测，用阴影交汇法确定其准确形状，并以其水平尺寸代替（4-2）式和（4-3）式中的 D_H,就可以得出正确无误的结论。

4.4.1.2 断裂层类缺陷的判别式

此类缺陷包括桩身中夹有水平或横截纵轴的夹泥（砂）层 、浮渣（浆）层 、混凝土破碎（裂）层。概而言之，就是正常砼中发生轴向的层状不连续。

正常混凝土的声速一般为 4.2～4.4km/s,而低密度断裂层的声速一般在 2.7km/s 以下，所以直达波的声速低于正常声速的 0.61 倍。设断裂层类缺陷处的声时离差为 $D_T(d)$,声幅离差为 $D_A(d)$,正常声速为 V_b,测管对的距离为 L,则此类缺陷的判别式如下：

当首波为直达波时，

$$D_T(d)>L\frac{4.4/2.7-1}{V_b}=0.63\frac{L}{V_b} \tag{4-5}$$

令 $L/V_b=T_b$ 为正常声时，则

$$D_T(d)>0.63T_b$$

$$D_A(d)>6db \tag{4-6}$$

上式的物理意义是：断裂层上首波为直达波时其声时偏差>0.63 倍标准（正常）声时，而且其声幅偏差大于 6db。

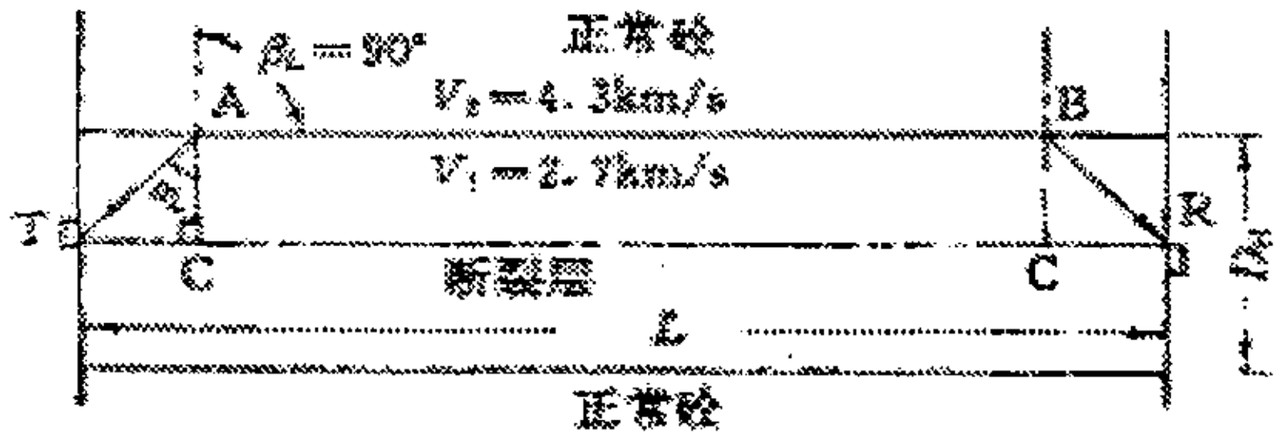


图 4-10 断裂层类缺陷中折射首波路径示意图

当首波为折射波时,由图 4-10 可知:

$$D(d) \geqslant \frac{\sqrt{D_H^2 + (D_H \tan\sin^{-1}\frac{V_1}{V_2})^2}}{V_1} - \frac{D_H \tan\sin^{-1}\frac{V_1}{V_2}}{V_2} \qquad (4\text{-}7)$$

以 V_1,V_2 值代入上式后化简，并令 $V_2=V_b$ 得

$$D_{T2}(d) \geqslant \frac{1.24 D_H}{V_b} \qquad (4\text{-}8)$$

$$D_A(d)>6dB \qquad (4\text{-}9)$$

上式的物理意义是：在全断裂层处，当首波为折射波时，在一般情况下（正常砼为 4.3km/s,断裂层声速为 2.7km/s）,此类缺陷的声时偏差大于正常声速通过缺陷体的垂向长度所需声时的 1.24 倍。而且其声幅偏差大于 6db。

由于是贯穿性层状断裂，所以当收、发换能器均处于断裂层上，其反射波的声时必然大于直达波与折射波，所以，接受到的首波为直达波或折射波。具体到某一断裂层缺陷处，究竟这两者谁为首波，则要根据桩径、断裂层的厚度与声速以及正常砼的声速等数据，计算出直达波与折射波的声时加以比较，才能确定。为了解决此类缺陷处直达波或折射波成为首波的具体条件，特将 D_H/L 为一定数列并设 T_0=187μs 时，直达波与折射波的声时离差列于表 4.1。从表上可知，当断裂层的声速小于 2.7km/s,正常砼的声速为 4.3km/s 时，若断裂层的厚度与其水平长度之比小于 0.509 时，折射波为首波；大于 0.509 时,直达波为首波；等于 0.509 时,两者同时到达。

表 4.1 直达波与折射波的声时离差

D_H/L	直达波（μs）	折射波（μs）	D_H/L	直达波（μs）	折射波（μs）
0.25	118	58	1.25	118	289
0.50	118	115	1.5	118	349
0.509	118	118	1.75	118	406
0.75	118	174	2.0	118	464
1.0	118	232			

4.4.1.3、孔洞类缺陷的判别式

此类缺陷包括混凝土中含有充气、充水或充填其它低密度异物的孔洞，也包括混凝土中含有较大的泥砂块或幅渣（浆）块。当孔洞不紧靠检测管的情况下，由于孔洞中的物质声速较低，故接收到的首波是绕射波；当检测管通过孔洞时，则首波必须通过孔洞，其声时大于绕射波。因此其判别式可用绕射波的历时导出。设孔洞类缺陷处的声时离差为 $D_T(k)$,声幅离差为 $D_A(k)$,正常声速为 V_b,测管对的距离为 LD_H 为缺陷体的纵向尺寸，则此类缺陷的判别式如下：

当缺陷为球体时

$$D_{T1}(k)>\frac{SQRT(L^2+D_H{}^2)-L}{V_b} \tag{4-10}$$

$$D_A(k)>6db \tag{4-11}$$

当缺陷为矩形体时

$$D_{T2}(k)=\frac{\sqrt{D_H{}^2+(L-AB)^2}-(L-AB)}{V_b}>D_{T1}(K) \tag{4-12}$$

$$D_A(k)>6db \tag{4-13}$$

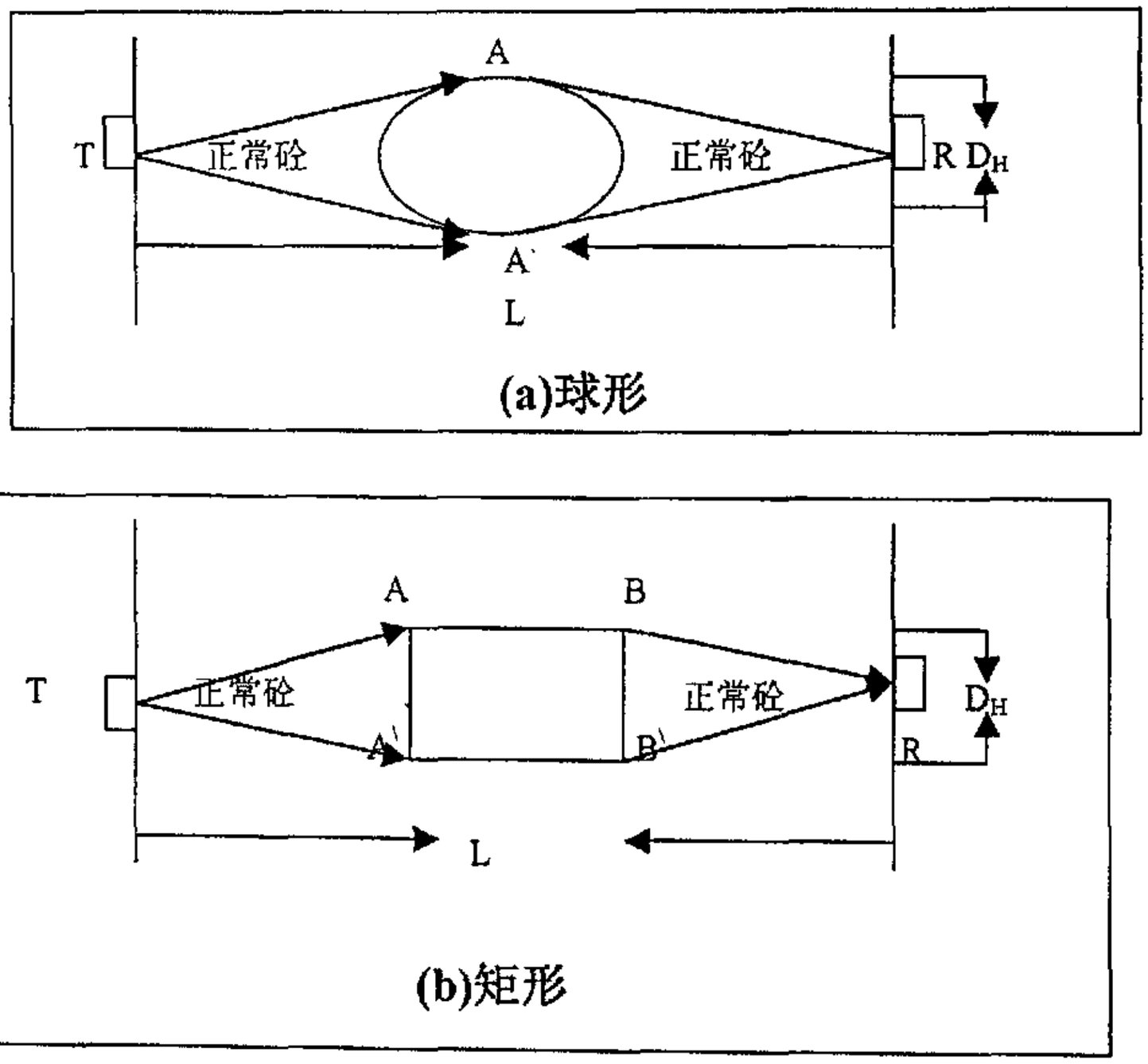


图 4-11 孔洞的首波路径

（4-10）和（4-11）式的物理意义是：球形孔洞类缺陷的声时偏差大于以正常声速通过孔洞的垂向长度与检测管距组成的直角三角形的斜边减去测管距后的余长所需的时间。而且其声幅偏差大于 6db。

（4-12）和（4-13）式的物理意义是：矩形孔洞类缺陷处的声时离差等于以正常砼声速通过缺陷体的垂向长度 D_H 与该测管对距 L 减去缺陷体水平长度 AB 后的余长组成的直角三角形的斜边与其水平直角边之差所需的时间。而且其声幅偏差大于 6db。

4.4.1.4、离析、疏松、低密度、低强度类缺陷判别式

此类缺陷也可以看成是前三类缺陷以外的其它缺陷：从物质方面考虑，此类缺陷体中无外来物质混入，而是由于混凝土配料不合理导致胶结不牢，或缺少胶结成份。从物理方面分析，它比正常砼的密度低、强度慢、速度慢，但它到底不是泥砂之类的低速物质。其声速仍比断裂层和孔洞类缺陷高，但却比蜂窝类缺陷的低。所以其判别式为：

$$0.176\frac{D_H}{V_b} < D_T(L) < \frac{SQRT(L^2 + D_H{}^2) - L}{V_b} \qquad (4\text{-}14)$$

即 $D_T(f)<D_T(l)<D_T(k)$ （4-15）

$DA(l)>6db$ （4-16）

（4-14）与（4-15）式的物理意义是离析类缺陷的声时离差介于蜂窝类缺陷声时离差的极大值与孔洞类缺陷声时离差的极小值之间。而且其声幅偏差大于6db。

如果缺陷判别程序中，将判别顺序按蜂窝类-断裂层类-孔洞类-离析（疏松、低密度、低强度）类排列，则上面式可简化为：

$DT(l)>2*ST$ （4-17）

为了便于理解，特将各类缺陷的声时偏差在标准声时 TB 中所占的范围，图示于下图 4-12：

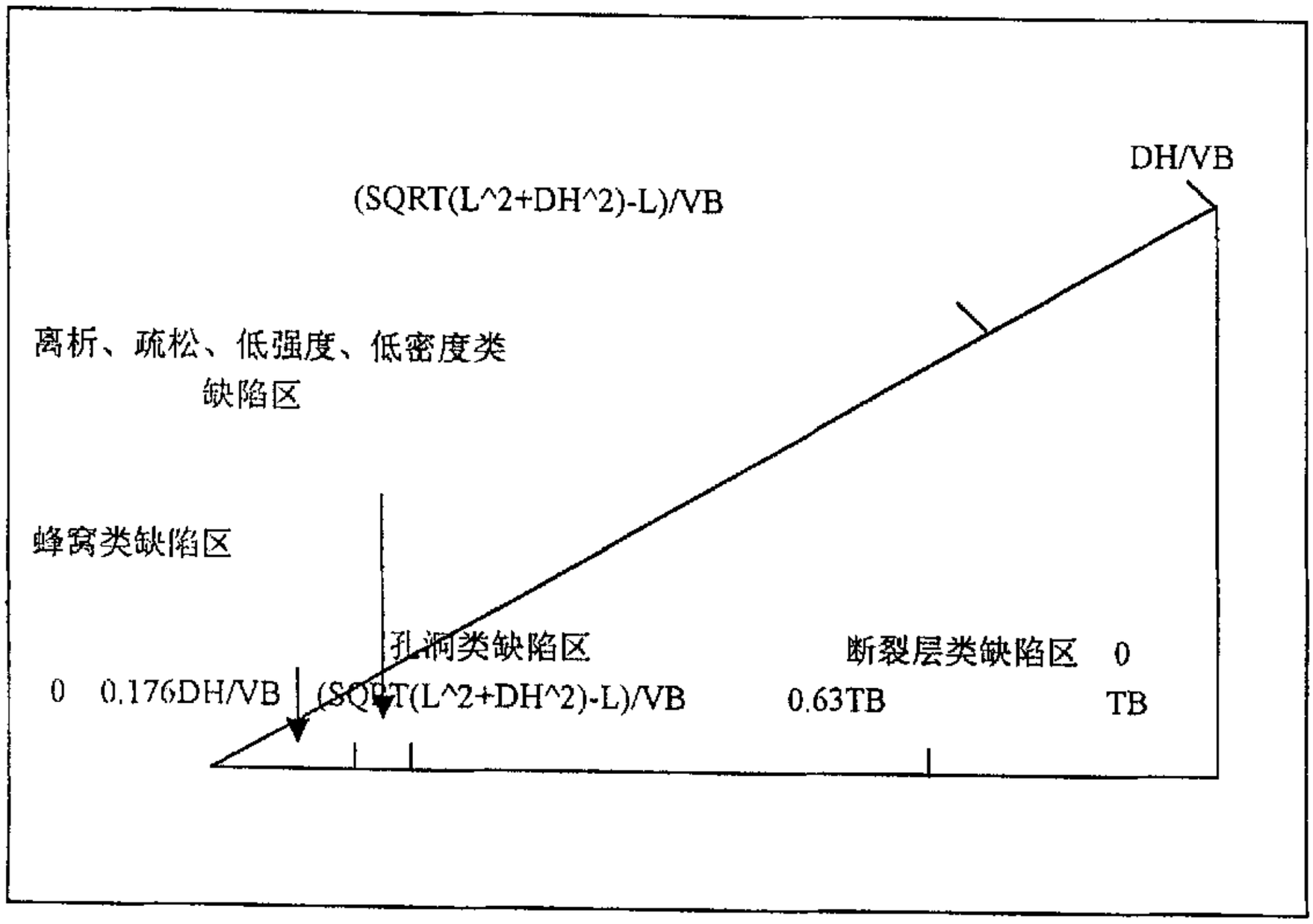


图 4-12　不同缺陷在声时中的比例

4. 4.2 各类缺陷在测管对剖面内的垂向和水平尺寸的推算式

4.4.2.1 各类缺陷体垂向尺寸 D_V 的推算式