
北京师范大学

Beijing Normal University

微波遥感

土壤介电常数

院系名称:

知行书院

专 业:

地理信息科学

学生姓名:

蒋宗青

学 号:

202011069017

指导老师:

赵少杰、蒋玲梅、柴琳娜

目 录

1	绪论	1
1.1	研究题目	1
2	原理与源码	2
2.1	重要原理解析	2
2.1.1	介电常数	2
2.1.2	菲涅尔公式—极化	3
2.1.3	测试效果	4
2.2	源码	5
2.2.1	Dobson.m 模型	5
2.2.2	DC_R.m 反射率公式	6
2.2.3	MainInput.m 反射率计算	6
2.2.4	Penetration_d.m 穿透深度公式	7
2.2.5	MainInput.m 穿透深度计算	7
3	结论	9
3.1	实验	9
3.1.1	问题一分析—反射率	9
3.1.1	问题二分析—穿透深度	10

1 绪论

1.1 研究题目

某种质地（参考土壤三角）的土壤，土壤体积含水量范围 3%~35%，土壤容重 1.1g/cm^3 ，利用 Dobson 土壤介电常数模型可以计算其不同含水量时介电常数。假设有某频率（1GHz~20GHz）的电磁波以 55 度入射角入射到光滑土壤表面：

- ①土壤温度不变时，土壤体积含水量如何影响地表的反射率（H 极化和 V 极化）？影响有多大？做图说明。
- ②土壤温度不变时，土壤体积含水量对不同频率电磁波的穿透深度影响有多大？做图说明。

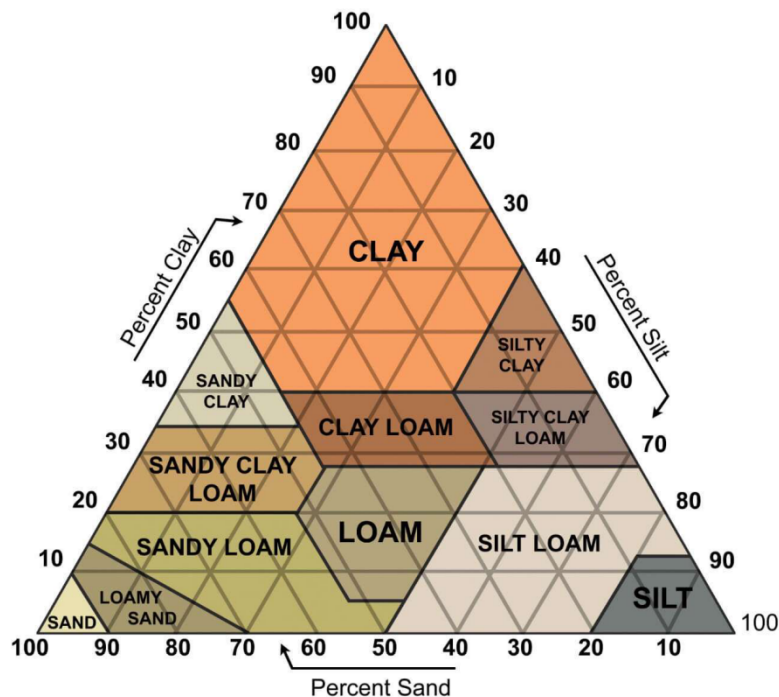


图 1 土壤三角（机械组成）沙土：Sand 粉土：Silt 壤土：Loam 粘土：Clay

2 原理与源码

2.1 重要原理解析

2.1.1 介电常数

介质在外加电场时会产生感应电荷而削弱电场，原外加电场（真空中）与最终介质中电场比值即为介电常数（permittivity），又称诱电率，与频率相关，表征介质中电场对电荷激发的电场的响应的物理量（法拉/米，F/m）。

土壤介电常数 ϵ :

$$\epsilon = \epsilon_r + \epsilon_i \cdot i$$

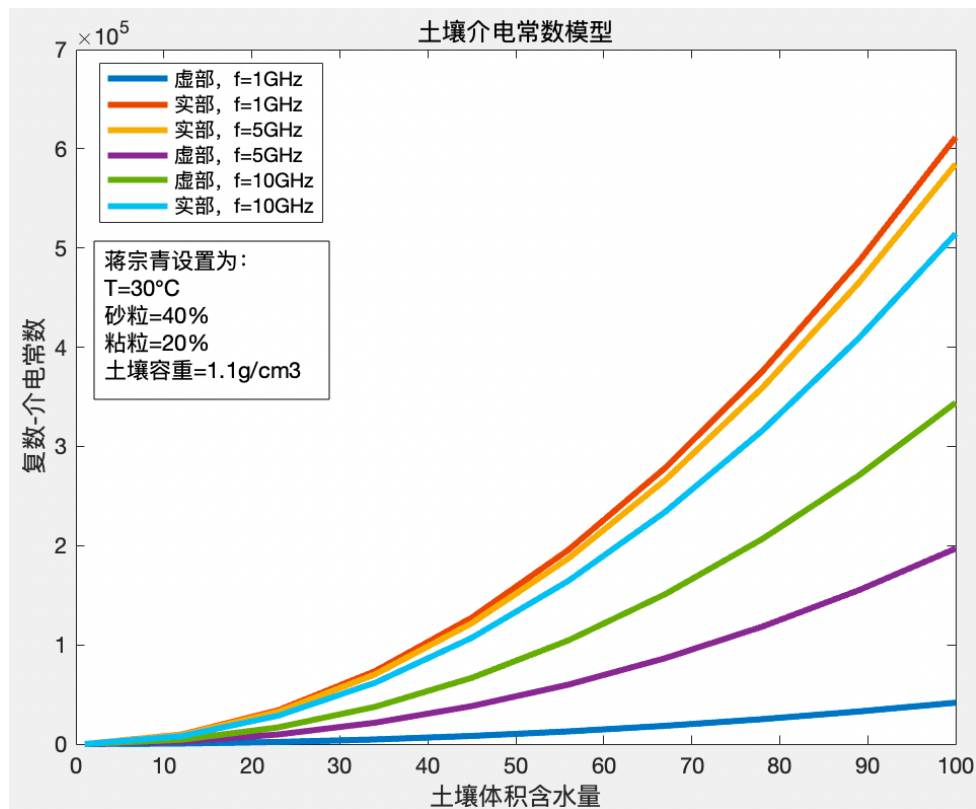


图 2 土壤介电常数实部与虚部曲线

2.1.2 菲涅尔公式一极化

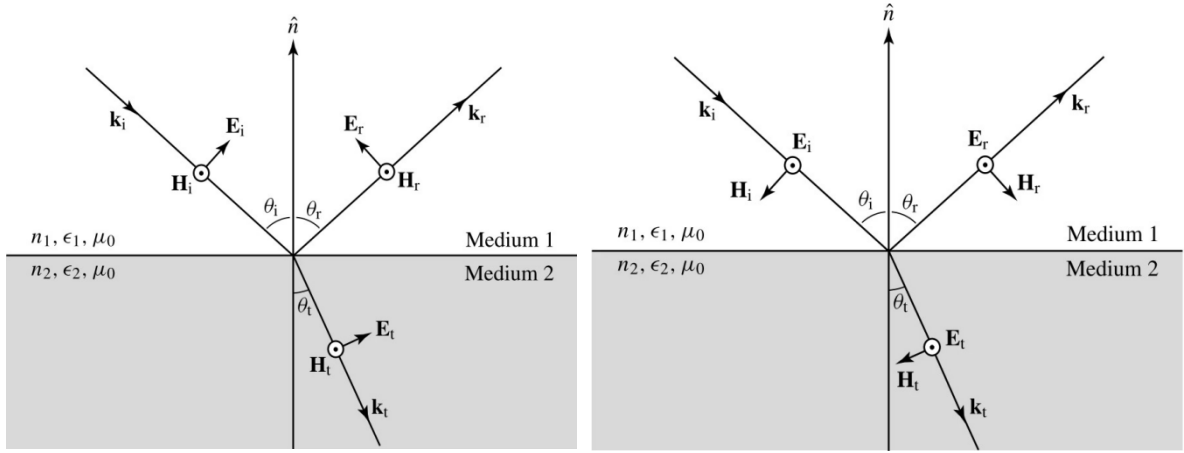


图 3 垂直极化（Vertical Pol）和水平极化（Horizontal Pol）

其中 n_1, n_2 分别是两种介质的真实折射率（即相对于真空的折射率）。
 折射率是指光线进入不同介质时角度发生改变的现象，用 $\sin\theta_1/\sin\theta_2$ 来表征。
 θ_1, θ_2 分别为入射角和折射角，即光线与法线的夹角。

根据反射系数与入射角公式：

$$H = |\rho_h|^2 = \left| \frac{\epsilon_r}{\epsilon_i} \right|^2 = \left| \frac{\mu_2 \cos\theta_i - \sqrt{\mu_2 \epsilon_2 - \sin^2\theta_i}}{\mu_2 \cos\theta_i + \sqrt{\mu_2 \epsilon_2 - \sin^2\theta_i}} \right|^2 \quad (1)$$

又知入射角为 55° 不变，同理得出极化与介电常数之间关系：

$$H, V = |\rho_h|^2, |\rho_v|^2 = \left| \frac{\epsilon_r}{\epsilon_i} \right|^2 \leq \epsilon \quad (2)$$

由反射率 R 公式：

$$R = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (3)$$

综合①②③得：

$$R_H = \frac{\cos\theta - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}, \quad R_V = \frac{\epsilon_r \cos\theta - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}{\epsilon_r \cos\theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}$$

2.1.3 测试效果

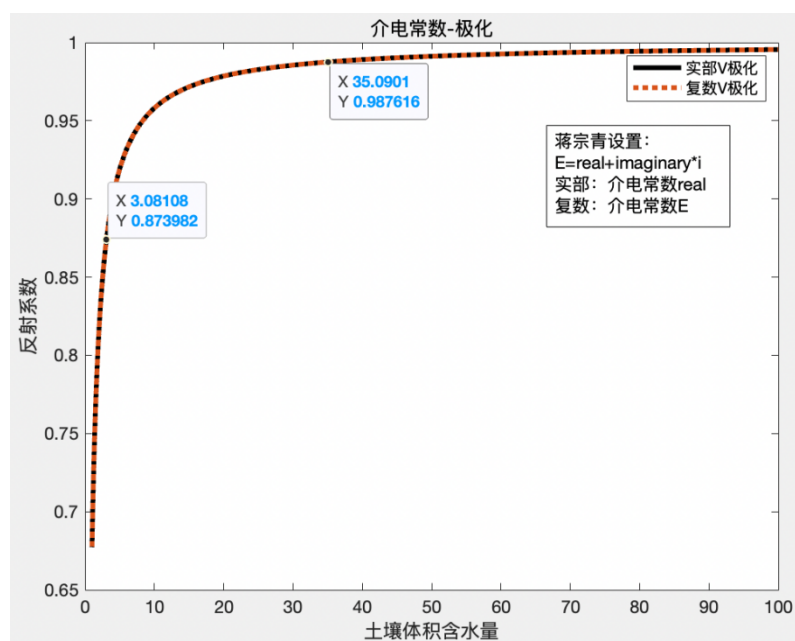


图 4 V 极化-只取介电常数实部和复数 E 对比与反射率的关系

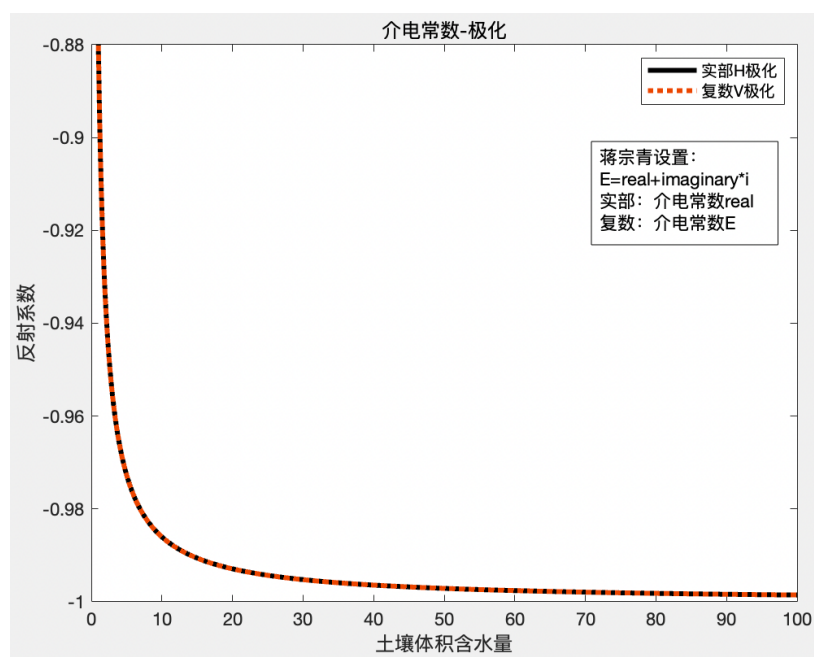


图 5 H 极化-只取介电常数实部和复数 E 对比与反射率的关系

可知地表反射率在土壤体积含水量范围 3%~35%内成正比增长（上图曲线只在含水量 3%~35%内有效），正常情况下反射率会随土壤湿度增大而下降，但因一定量的黏土和土壤容重，以及特定范围的入射角光线照射下，地表反射率在水平或垂直方向有增大的趋势。

2.2 源码

2.2.1 Dobson.m 模型

```
% f frequency in GHz          频率
% T soil temperature in Celsius degree    土壤温度以摄氏度为单位
% bd soil bulk density, in g/cm3          土壤容重, 单位为 g/cm3
% vwc volumetric water content, e.g. 0.3 for 30% 体积含水量, 例如 0.3 代表 30%
% vsand fraction of sand of the soil in %    v 土壤中砂粒的比例, 为%
% vclay 粘粒含量
% 01_202011069017 蒋宗青
function [dcsr, dcsi]=Dobson(f,T,vwc,vsand,vclay,bd)

    if nargin<6
        error('Not enough input arguments.');
```

elseif nargin>6

```
        error('Too many input arguments.');
```

else

```
        alpha=0.65;
        dcs=4.7;
        sd=2.65;
        dc0=0.008854;
        dcw0 = 88.045-0.4147.*T+6.295e-4.*T.^2+1.075e-5.*T.^3; %
Refer to [3]
        tpt=0.11109-3.824e-3.*T+6.938e-5.*T.^2-5.096e-7.*T.^3;
%2*pi*tao, Refer to [4]
        dcwinf=4.9;
        if f>=1.4
            sigma = -1.645+1.939*bd-0.0225622*vsand
+0.01594*vclay; % Refer to [2]
        else
            sigma = 0.0467+0.2204*bd-0.004111*vsand
+0.006614*vclay;% Refer to [2]
        end
        dcwr=dcwinf+((dcw0-dcwinf)./(1+(tpt.*f).^2));
        dcwi=(tpt.*f.*(dcw0-dcwinf))./(1+(tpt.*f).^2)...
+sigma*(1.0-(bd/sd))./(8.0*atan(1.0)*dc0.*f.*vwc);%
Refer to [1]
        betar=1.2748-0.00519*vsand-0.00152*vclay;
        betai=1.33797-0.00603*vsand-0.00166*vclay;
```

```

        dcsr=(1.0+(bd/sd)*((dcs^alpha)-1.0)+(vwc.^betar)*(dcwr^
alpha)-vwc).^ (1/alpha);% Result real part"
        dcsi=(vwc.^(betai/alpha)).*dcwi;%Result imaginary part
    end
end

```

2.2.2 DC_R.m 反射率公式

```

%输入极化方式 polar、入射角 theta_i 和介电常数 epsilon_r 实部
% 01_202011069017 蒋宗青
function R=DC_R(polar,theta_i,epsilon_r)
%theta_i=55*pi/180
%计算极化菲涅尔反射系数
if strcmp(polar,'H_pol')==1
    R=(cos(theta_i)-sqrt(epsilon_r-(sin(theta_i))^2))/...
        (cos(theta_i)+sqrt(epsilon_r-(sin(theta_i))^2));
elseif strcmp(polar,'V_pol')==1
    R=(epsilon_r*cos(theta_i)-sqrt(epsilon_r-(sin(theta_i))^2))/...
        (epsilon_r*cos(theta_i)+sqrt(epsilon_r-(sin(theta_i))^2));
else
    disp('wrong polar input in F_R!');
end

```

2.2.3 MainInput.m 反射率计算

```

% 01_202011069017 蒋宗青
clear;
clc;
f=10;
T=30;
vwc=linspace(1,100,100000); %体积含水量-自变量, 间隔越多越光滑
vsand=0.4;
vclay=0.2;
bd=1.1;
%这里的 real 和 imaginary 都是矩阵(行为一)
[real,imaginary]=Dobson(f,T,vwc,vsand,vclay,bd)
% E=real+imaginary*i;
theta_i=55*pi/180;
%反射率(系数)与土壤体积含水量关系
for i=1:100000
    E(i)=sqrt(real(i)^2+imaginary(i)^2); %因变量取整个复数 E
    R1(i)=DC_R('V_pol',theta_i,real(i)); %因变量只取实部
    R2(i)=DC_R('V_pol',theta_i,E(i));
end

```

```

end
plot(vwc,R1,'r','linewidth',3);
plot(vwc,R2,'--','linewidth',3);
xlabel('土壤体积含水量');
ylabel('反射率');
title('介电常数-极化');
grid; hold on;

```

2.2.4 Penetration_d.m 穿透深度公式

```

function Depth=Penetration_d(real,imaginary,theta_i,f)

    if nargin<4
        error('Not enough input arguments.');
```

elseif nargin>4

```

        error('Too many input arguments.');
```

else

 %注意因为 f 的单位为 GHz 所以取光速 3e8/频率==>3/f

```

        E=sqrt(real^2+imaginary^2); %介电常数
        Depth=3*sqrt(real)/(2*f*pi*imaginary*cos(asin(sin(theta
_i)/sqrt(E))))
    end

```

2.2.5 MainInput.m 穿透深度计算

```

clear;clc;
f=10;
T=30;
vwc=linspace(1,100,1000);
vsand=0.4;
vclay=0.2;
bd=1.1;
[real,imaginary]=Dobson(f,T,vwc,vsand,vclay,bd)
% E=real+imaginary*i;
theta_i=55*pi/180;
%反射率（系数）与土壤体积含水量关系
% for i=1:100000
%     E(i)=sqrt(real(i)^2+imaginary(i)^2); %因变量取整个复数 E
%     R1(i)=DC_R('V_pol',theta_i,real(i)); %因变量只取实部
%     R2(i)=DC_R('V_pol',theta_i,E(i));
% end
% plot(vwc,R1,linewidth',3);
% plot(vwc,R2,'--','linewidth',3);

%穿透深度与土壤体积含水量关系

```

```
for i=1:1000
    depth(i)=Penetration_d(real(i),imaginary(i),theta_i,f);
end
plot(vwc,depth,'linewidth',3);
xlabel('土壤体积含水量');
ylabel('穿透深度');
title('不同频率电磁波的穿透深度');
grid; hold on;
```

3 结论

3.1 实验

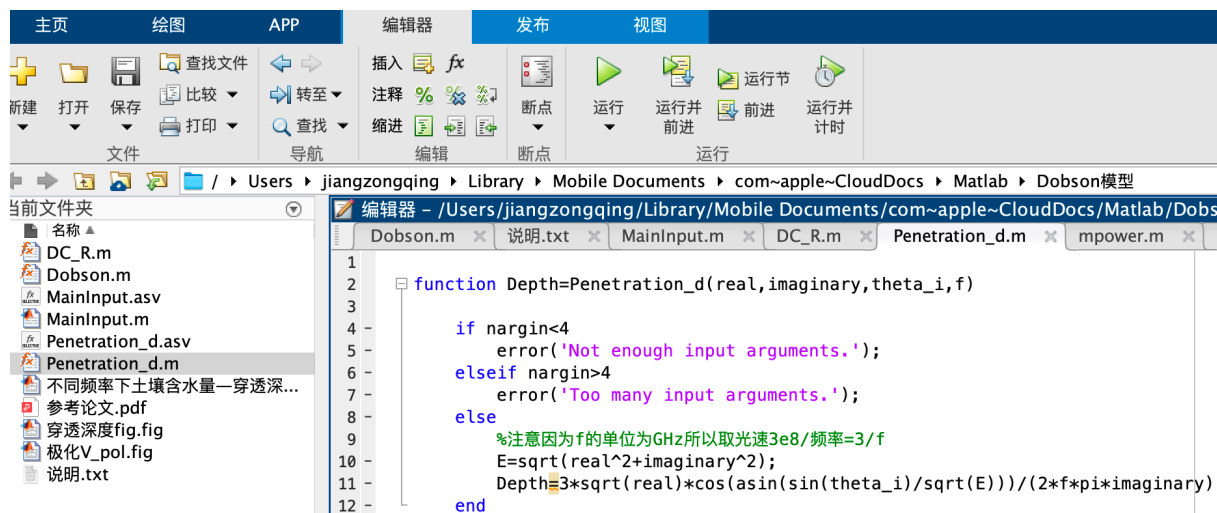


图 6 Dobson 模型-matlab 程序结构

3.1.1 问题一分析—反射率

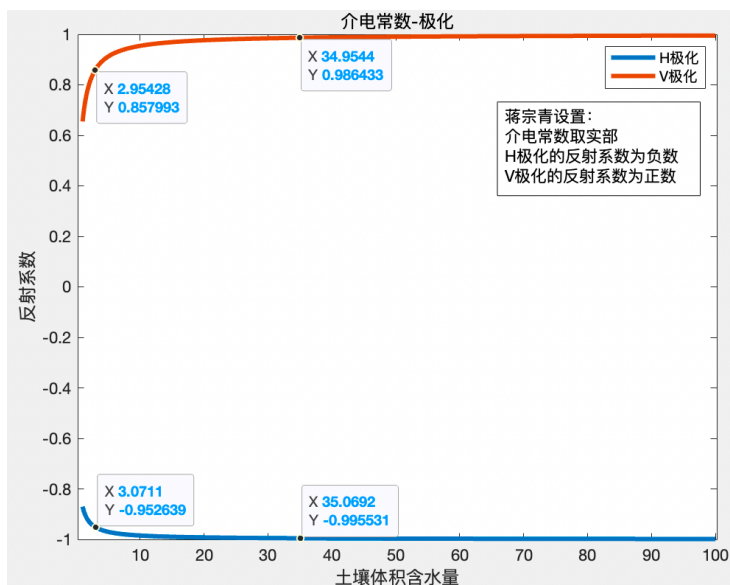


图 7 土壤体积含水量对地表反射率的影响 (H 极化和 V 极化)

实验是在土壤体积含水量范围 3%~35%，土壤容重 1.1g/cm^3 ，利用 Dobson 土壤介电常数模型计算出不同含水量时的介电常数，其与反射率存在最直观规律鉴定价值，经查找资料与分析，可以由垂直与水平极化的方式构建土壤体积含水量与反射率之间的关系，得出该范围内两者成正比。

3.1.1 问题二分析—穿透深度

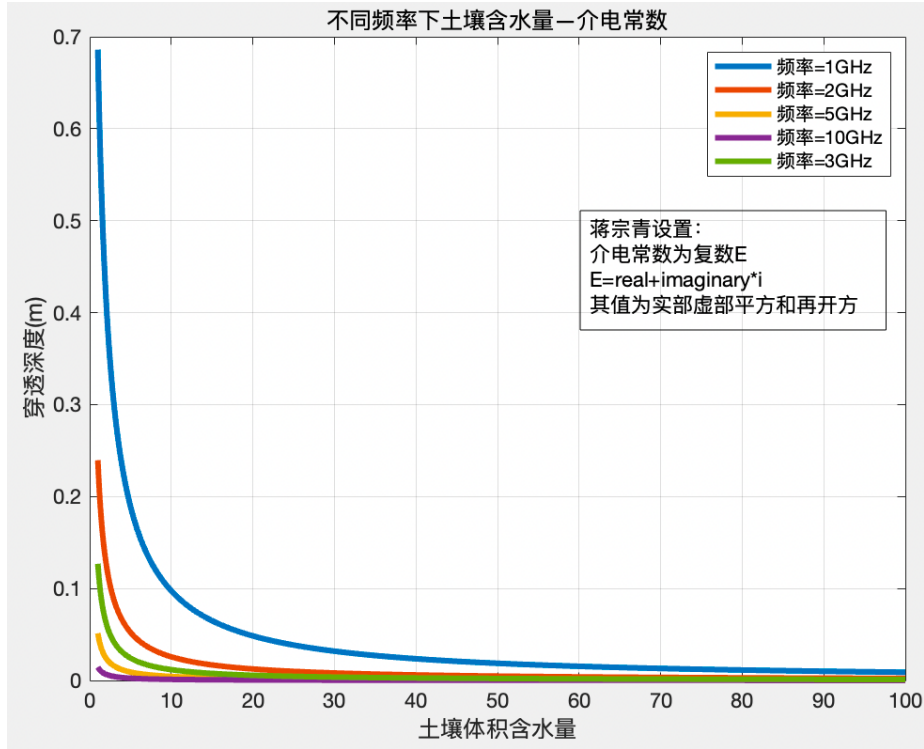


图 8 土壤体积含水量对不同频率电磁波的穿透深度的影响

结合资料所知， $R+T+S=1$ ，其中 R 为反射率， T 为穿透率， S 为吸收率，随着土壤体积含水量的增加 R 呈上升趋势，则 $T=1-R-S$ 判断穿透能力在一定的辐射材料不变的情况下应呈下降状态，但吸收率与散射等因素有控制变量的影响，遂参考文献，归纳出一个全新公式，如下。

$$d_{penetration} = d \cos \theta_t = \frac{c \sqrt{\epsilon_r}}{2\pi f \epsilon_i} \cos \left[\arcsin \left(\frac{\sin \theta_i}{\sqrt{\epsilon}} \right) \right]$$

避开吸收率在参数中对穿透率的影响，直接找出土壤含水量与穿透深度之间的关系，得出对同一种土壤，其穿透深度随含水量增大而变小，频率在一定范围内，频率越小，其穿透深度越大。
