

## 2017 电磁场期末简答题参考 by CYL

以下均为个人观点，不一定对！

### 1、电场和磁场都有两类，分别说明各自的源是什么。

电场: 库伦电场和感应电场, 库伦电场的源是静电荷, 感生电场的源是变化的磁场;

磁场: 由库伦电场变化产生的磁场和由感应电场变化产生的磁场, 前者的源是恒定电流, 后者的源是变化的电场。

### 2、说明和解释利用导体壳屏蔽静电场的原理, 包括屏蔽外部场使得壳内部空间无电场和屏蔽内部电荷产生的场使得外部无电场的情况。

用导体壳屏蔽外部场: 在外部场的影响下, 导体壳上的净电荷会在表面重新分布, 其结果是使内部场强为 0, 因为由高斯定理可以知道: 任意形状的等位面内部若无场源, 则内部场强一定为 0。

屏蔽内部场: 首先要让导体壳接地, 内部电荷的场使得导体壳内侧净电荷重新分布, 结果是内侧净电荷的电场与内电荷电场叠加为 0, 然后外表面上感应出的净电荷被导走。这样一来, 导体壳是个等位面, 把外侧看成高斯定理中的闭合曲面内部, 没有场源, 同样有导体壳外部空间内场强为 0。

### 3、什么情况下需要计算部分电容, 换句话说, 计算部分电容的用途是什么。

如果从系统中引出 3 个或更多端子, 就需要计算部分电容, 计算部分电容就是为了求解各个端子之间内部的具体电容网络。

### 4、在 10 多米高处悬挂的一条高压直流输电线, 在电压一定的情况下, 导线半径越大, 则导线表面电场强度是越大还是越小? 地表面的场强是越大还是越小?

导线半径越大, 导线表面电场强度越小, 地表面的场强越大。(理论证明附后, 利用镜像+电轴法计算)

另一种看法: (答疑时老师讲的) 可以把地面看成一个超大的圆柱形导线, 这样就变成了两个半径不等的电轴的模型。当导线半径增大时, 两个电轴表面的场强越来越接近, 也就是大的变小 (原本导线表面的场强较大), 小的变大 (原本地面的场强较小)

### 5、一个螺线管线圈通有电流, 问电磁力会使线圈在长度方向上伸长还是缩短? 在半径方向上欲使半径增大还是减小? 为什么? 或者问如何可简单地得到结论。

两种看法:

橡皮筋法: 磁力线是橡皮筋, 轴向有收缩的趋势, 径向有膨胀的趋势。所以电磁力会使长度上缩短, 半径上增大。

电磁力使电感感值增大: 螺线管线圈的电感与单位长的匝数成正比, 与面积成正比。如果线圈缩短, 单位长度上的匝数增加, 电感增加; 如果半径增大, 则面积增大, 电感增加。所以电磁力会使线圈长度上缩短, 半径上增大。

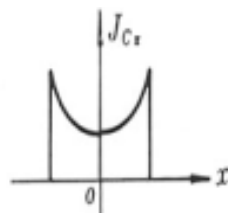
### 6、描述什么是电流的集肤效应, 并解释为何会出现集肤效应现象。

趋肤效应: 导线中通有交流电流时, 导线内部的电流密度小, 靠近表面处的电流密度大。

载流导线内，可分为或认为存在“自由”电流和感应电流。自由电流均匀分布，感应电流成涡旋状，与磁力线交链。（在磁通增加的时间段内）中间区域两电流方向相反，靠近表面处方向相同。所以，两电流叠加后，靠近轴线处电流密度较小，靠近表面处电流密度较大，出现集肤现象。（但在磁通减小的阶段，电流是“趋中心”的）

电流密度的相量的模如下图所示：需要注意的是，这个曲线是电流密度在一个周期内有效值（或最大值）随  $x$  分布的曲线，不是某个时刻的电流密度分布。是对频域而言，不是对时域而言！

对于时域来说，在不同的时刻，电流可能是趋肤的，也可能是趋中心的，只是总体来说集肤效应要强于集中效应，使得一个周期内导体各点电流密度的最大值呈现集肤效应。



## 7、为何同轴电缆输电不会对外造成感性耦合骚扰？其负载也不会受到外界时变磁场的骚扰影响？

不会对外产生骚扰的原因：

因为其外皮与芯线的反向电流的作用中心重合，产生的磁场完全抵消了；

或者可以这么说：没有回路面积，与外面回路不形成互感。

能抵抗外界时变磁场干扰的原因：

回路面积非常小，与外面电路的互感很小。

## 8、什么是天线的方向图因子？用它来表示波的什么特性？

以元天线为球心的球面上得到场量（ $E$  或  $H$ ）的模，并将其归一化，设定为函数  $f(\theta, \alpha)$ ，就叫天线的方向图因子。

可以用来描述电磁波在空间上的分布情况（在哪个方向上强度最大）

## 9、什么叫 TEM 波和 TE 波？在金属波导中 $TE_{mn}$ 的含义是什么？。

TEM 波是横电磁波，电矢量与磁矢量都垂直于传播方向。

TE 波是横电波，只有电矢量在横平面内，磁矢量有纵向分量（有平行于传播方向的分量）。

$TE_{mn}$  课上没讲。

## 10、给出下面几个物理量的单位（用文字或字母表示均可）（5分）：

介电常数( $F/m$ )，电导率( $S/m$ )，电阻率( $\Omega \cdot m$ )，磁导率( $H/m$ )，电场强度( $V/m$ )，电位移( $C/m^2$ )，磁感应强度( $T$ )，磁场强度( $A/m$ )，磁场能量( $J$ )，坡印亭矢量( $W/m^2$ )。

## 课上思考题汇总：

(名词解释是最重要的、最基础的基础知识)

### 场论部分

#### 1. 什么是场？

如果在空间的每一点，都对应或存在一个物理量的确定值，就称在这个空间存在或确定了该物理量的场。

#### 2. 什么是矢量、矢量函数、矢量场，其表示方法为何？

矢量：既有大小又有方向的量

矢量函数：因变量是矢量的函数

矢量场：以空间坐标为自变量的矢量函数

#### 3. 常用的有几种坐标系？各是如何组成的？

空间直角坐标系：三个单位矢量分别为，任意一点可以看作三个平面的交点

圆柱坐标系：三个单位矢量分别为，任意一点可以看成是一个圆柱面、一个半平面和一个平面的交点。

球坐标系：三个单位矢量分别为，任意一点可以看成是一个球面、一个圆锥面和一个半平面的交点。

#### 4. 两矢量的点乘与叉乘是什么含义？

两个矢量的点积等于它们对应的坐标分量相乘后之和，矢量  $\mathbf{a}$  和  $\mathbf{b}$  的叉积  $\vec{a} \times \vec{b}$  仍为一个矢量，该矢量的模为以  $\mathbf{a}$  和  $\mathbf{b}$  定义的平行四边形的面积，即  $ab \sin \theta$ 。该矢量的方向垂直于矢量  $\mathbf{a}$  和  $\mathbf{b}$ ，且三个矢量  $\mathbf{a}$ 、 $\mathbf{b}$ 、 $\vec{a} \times \vec{b}$  符合右手螺旋关系。

#### 5. 什么样的场是二维平行平面场？给出几个实例。

平行平面场是指在相互平行的平面上，场的分布相同。

载有恒定电流的长直导线垂直轴线的平面上的磁场分布、平行板电容器两板间垂直于极板的平面上的静电场分布。

#### 6. 什么样的场是二维轴对称场？给出几个实例。

轴对称场是分布关于一个轴旋转对称的场。

载有恒定电流的长直导线任意一个经过轴线的平面上的磁场分布，同轴电缆内部经过轴线的平面上的磁场分布，均匀带电无限长圆柱导体任意一个经过轴线的平面上的静电场分布。

#### 1. 表述场分布特性的绘图方法有哪几种？

场线、场面、场云图、矢量场的箭头。

标量场的等值面/等值线、矢量场的矢量线（力线）

#### 2. 什么是矢量场的矢量线（力线）？

矢量场中的有方向的曲线，其上面每一点的切向就是那一点场的方向。

#### 3. 什么是函数的方向导数？计算方法为何？

函数  $f(x, y, z)$  沿  $l$  方向的方向导数就是  $f$  沿  $l$  方向的变化率，记为  $\partial f / \partial l$ 。标量。

梯度和该方向单位向量的点积。

4. 什么是标量场的梯度？其物理意义为何？计算方法为何？

标量场  $f(x, y, z)$  的梯度是一个矢量场，记为  $\text{grad } f$  ( $\text{grad}$  是  $\text{gradient}$  的缩写)，其在点  $(x, y, z)$  的大小等于  $f$  在该点的最大变化率，其方向为最大变化率的方向。

物理意义：标量场中，每一点的梯度的大小就是该点的最大空间变化率，也就是最大方向导数值。梯度的方向为该点的最大方向导数对应的方向。

$$\text{计算方法：直角坐标系下 } \text{grad} f = \frac{\partial f}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial f}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial f}{\partial z} \vec{k}$$

5. 什么是矢量场的通量？闭合面的通量有什么物理意义？

通量：矢量场在有向曲面上的积分

6. 什么是矢量场的散度？定义、物理意义与计算方法为何？

7. 什么是矢量场的环量？环量有什么物理意义？

8. 什么是矢量场的旋度？定义、物理意义与计算方法为何？

9. 哪两种函数的体积分与面积分相等？

10. 哪两种函数的面积分与线积分相等？

## 电磁场基础知识回顾

1. 给定矢量函数所满足的一个方程，仅有一个函数满足该方程吗？

2. 电位的含义？电位满足的方程？

3. 矢量磁位 (Magnetic vector potential) 的含义？矢量磁位满足的方程？

由于磁场一定无散，所以引入一个矢量函数  $A$ ，使得  $A$  的旋度等于磁通密度  $B$ ，这个矢量函数  $A$  就叫矢量磁位。矢量磁位  $A$  满足： $A$  的旋度等于  $B$ 。

4. 电场有哪两种？磁场有哪两种？

电场：库伦场（由电荷产生的）&感应电场

磁场：由库伦场变化产生的磁场&由感应电场变化产生的磁场

5. 电磁场基本方程 (Maxwell 方程组) 是什么？

6. 为何规定矢量磁位  $A$  的规范？

矢量磁位  $A$  仅满足其旋度等于磁通密度  $B$ ，只有一个限制条件，无法唯一确定一个矢量函数。所以为了方便起见，可以令  $A$  的散度等于 0，这样就可以将  $A$  唯一确定下来。

## 电介质、极化、电位移：

1. 介质有何特性？介质极化的物理意义和定量描述方法？

介质内部没有可以自由移动的电荷。

介质极化的含义：原子或分子的正负电荷作用点被分离，形成电偶极子。

极化强度：单位体积内的偶极矩数目

2.若在非无限大均匀介质空间，当高斯面内有多种介质时，高斯通量定理还成立吗？下式用哪个常数？

有多种介质时，不能用E的高斯定理，只能用电位移的高斯定理

3.为何要引入电位移矢量D，其是如何引入的？

介质在外加电场的作用下会发生极化，会有极化强度，为了用极化电荷来代替介质，令 $D = \epsilon_0 E + P$ ，就能使D的散度等于自由电荷体密度，这样一来，闭合面积分就与介质的极化电荷没有关系了。D包含了P，将极化电荷内含了。

4.在介质交界面上微分形式的场方程成立吗？

交界面上的场是不连续的，微分形式的场方程不成立。

5.不同介质的交界面上场量所满足的约束条件为何？

E 切向连续，D 法向连续（交界面上没有自由电荷时，若有自由电荷，则为

$D_{2n} - D_{1n} = \rho_s$ ，参考方向从1到2）

6.电位的边值问题包含哪几个要素？

电位的边值问题包含3个要素：场内的电位满足的方程，边界面上的条件，不同介质间交界面的条件

## 部分电容：

1.多导体情况下何时需要计算电容，何时需要计算部分电容。

只引出两个端子的话，求解电容（就是总电容）就可以了；如果引出三个或更多端子，就需要知道内部的电容网络，需要求解部分电容。

2.部分电容的定义式为何？定义式的含义为何？

$Q = CU$  求和，含义：各导体上的总电荷等于各个与之相连的部分电容与其电压的乘积之和。

3.计算电容的两种方法为何？适用于何种情况？

加Q求U：已知电荷的分布情况

加U求Q：作为边界条件，用泊松方程解场

4.部分电容或系数的测量方法之宗旨或方法基础是什么？

让其他项系数都等于0就可以

$u=0$ ：等电位

$q=0$ ：不加电荷

5.为何说电场具有能量？能量与哪些量有关？

能量与Q、U都有关系

6.电场能量与电场对物体的作用力有何关系？

把电荷挪一挪，看一下电场能量改变了多少。微分关系式

## 恒定电流场：

### 1. 恒定电流场研究的是什么问题？

恒定电流周围的电场分布

### 2. 其场源为何？

恒定电流场的源仍然是电荷，只是电荷分布在导体表面

### 3. 其物理量为何？

$$E, \varphi, J, I, \sigma$$

### 4. 基本方程组为何？

$$\text{三个：} \nabla \times E = 0, \nabla \cdot J = 0, J = \sigma E$$

### 5. 交界面条件为何？

J 法向连续，E 切向连续

### 6. 非完纯导体的交界面条件为何？

电流密度 J 法向连续，电位移的法向不连续，并且交界面上电荷面密度未知。

### 7. 静电（静电场与电流场）比拟的含义为何？

静电比拟指的是恒定电流场与静电场的比拟。在均匀媒介中，静电场与恒定电场的电位函数均满足拉普拉斯方程，若边值条件相同，那么从方程求解的角度看，两个场将得到相同的电位解答。

同时注意到恒定电场中的  $E$ 、 $J$ 、 $\sigma$ 、 $\varphi$ 、 $I$  与静电场中的  $E$ 、 $D$ 、 $\varepsilon$ 、 $\varphi$ 、 $q$  是一一对应的；

在计算公式的形式上，两者也类似，如  $\begin{cases} J = \sigma E \\ I = \oiint J \cdot dS \end{cases}$  与  $\begin{cases} D = \varepsilon E \\ q = \oiint D \cdot dS \end{cases}$ 。所以从电位函

数推导各个电场变量，从形式上两种场得到的结果是相似的。

静电比拟法利用了静电场与恒定电流场之间形式上的相似，借助静电场知识来求解恒定电场，提供了一种求解恒定电流场的直观、便捷的方法。但同时，我们也要清楚，这两种场只是求解时的形式相同，在物理意义上并没有很多联系。

### 8. 电阻的求法？

加 I 求 U、加 U 求 I、功率法、静电比拟法  $G/C = \sigma/\varepsilon$

### 9. 接地电阻的含义？

接地电阻值由接地线的电阻、接地极导体的电阻和接地极与无限远处两电极之间的土壤区域电阻串联而成。由于土壤的电阻率远远大于接地极和接地线导体的电阻率，故接地电阻可视为接地极外大地或土壤区域的电阻。

## 恒定磁场:

### 1、磁媒质磁化是指?

磁媒质在外磁场作用下呈现出磁场源的特性,能够产生磁场,当然也能够受到磁场力作用的现象。本质是外磁场使得材料内部本来无规则排列的分子电流/磁畴顺序排列,对外呈现等效磁化电流特性。

### 2、磁矢量位 $A$ 的引入方法? 引入的意义?

引入方法: 让  $A$  的旋度等于  $B$ , 并让  $A$  的散度为 0

引入的意义:  $A$  的方向处处与电流相同, 在已知电流分布的情况下, 要比直接求  $B$  容易

### 3、磁矢量位 $A$ 满足的两个方程(旋度与散度)?

旋度等于  $B$ , 人为规定散度为 0

### 4、磁矢量位 $A$ 的两种计算方法?

直接积分  $A = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{dl}{r}$ ; 或者解边值问题

### 5、用磁矢量位 $A$ 求磁通的方法?

$A$  的闭合线积分就是对应闭合曲面上的磁通。

### 6、磁力线的定义? $B$ 线与 $A$ 线的关系?

磁力线: 描述磁场分布的闭合曲线, 曲线上每一点的切向都是该点的磁感应强度方向。

二维平行平面场中, 等  $A_z$  线是磁力线, 磁力线即为  $A$  的第一类边界, 与磁力线垂直的线为齐次二类边界。

二维轴对称场中, 等  $rA_\alpha$  线为磁力线。

### 7、磁场中镜像法的理论基础? 可做镜像的场模型?

唯一性定理, 满足边界条件, 场就唯一确定。

半无限大磁媒质中长直恒定电流的情况。

### 8、电感的定义? 含自感与互感

自感: 回路电流  $I$  产生的磁链与该电流的比值。

互感: 回路 1 的电流  $I_1$  产生的与回路 2 交链的磁链  $\Psi_{21}$  除以  $I_1$ , 就称为回路 1 对回

路 2 的互感  $M_{21}$ 。

### 9、电感的求法?

加电流求磁链; 加电流求磁场能量

### 10、导线变粗, 电感值如何变化?

导线的内自感与半径无关, 导线越粗, 外自感越小, 总自感越小。

### 11、互感的特性?

$M_{12}=M_{21}$

### 12、铁心电感的特性? 什么是线性电感、什么是非线性电感?

线性电感:  $L$  值仅与回路的几何尺寸、媒质参数有关, 与电流值无关。

非线性电感的感值与电流大小有关, 铁芯电感就是这样, 电感无定值, 给定了电流

才能说电感。

13、时变电感与直流电感值有何区别？（电容和电阻呢？）

时变电感一般会略小于直流电感，内自感减小，外自感基本不变。因为频率越高，电流的趋肤效应越明显，内部磁密减小，外部磁密基本不变

14、电流互感器的用途、结构、原理、特性

15、磁力线（B线）的特点是什么？（请从主到次列出）

1. 闭合、有向（也可能经磁导率为无限大的区域来闭合）
2. 必包含电流（闭合且包含电流。对无永久磁铁的情况）
3. 在空气侧基本上垂直于铁磁材料表面
4. 电流区域内定有闭合的磁力线（其磁链对应内电感）
5. 在电流外有围绕电流的闭合磁力线（对应外电感）。

有铁磁材料的问题磁力线最少要画符合上面 3-5 项的三根磁力线。

为了表示场的大小，应该更多一些

## 电磁干扰：

1、电磁兼容性是指什么？

设备在工作时对外界产生的电磁干扰小，并且对外界的电磁干扰有高耐受性。

2、电磁干扰的耦合方式有哪几种？

低频的传导耦合（容性耦合、感性耦合、阻性耦合），高频的辐射耦合。

3、容性耦合：通过部分电容建立耦合，会产生大电压，不一定有大电流。

抑制方法：静电屏蔽

4、感性耦合：通过互感建立耦合。主要是感应电流

抑制方法：低频磁场的电流屏蔽与恒定磁场的磁屏蔽。

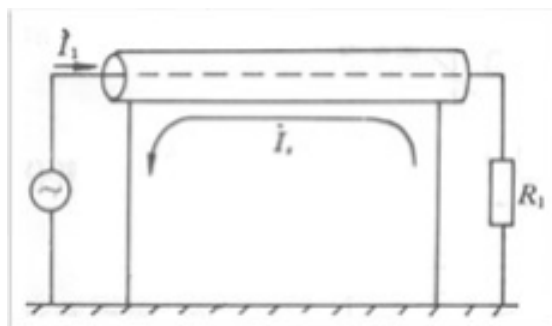
电流屏蔽：放置导体板（良导体，如铜），产生感应电流，利用感应电流的去磁效应来实现屏蔽。没有磁屏蔽效果。

磁屏蔽：用铁磁材料的板材，“短路”磁力线，无法屏蔽法向的 B。

要想屏蔽低频交变电流（如下图）产生的磁场，可以在导线上套一个导体管，管子必须两端接地或连接成一个较大的回路，目的是回路中要有较大磁通从而产生较大电流。单套一个导体管不接地屏蔽作用非常小。

原理：假设屏蔽回路与原回路在几何上完全重合，且屏蔽回路的电阻较小（相对于屏蔽回路的感抗），则相当于理想变压器，屏蔽回路的电流与原回路电流大小相等方向相反，实现几乎完全的屏蔽，对外没有骚扰。但是，这对原电路自身的工作状态影响甚大。





套装接地导体管还可以抑制容性耦合，但是若是只为了抑制感性耦合，不需要套装管子。将管子改为靠近导体 1 的导体线，屏蔽作用与套装管子基本相同。

在被耦合的回路（回路 2）处设置闭合导体回路也可以抑制干扰。

5、用同轴电缆作为一对传输线时不会对外产生骚扰，为什么？

因为其外皮与芯线的反向电流的作用中心重合，产生的磁场完全抵消了；

或者可以这么说：没有回路面积，与外面回路不形成互感。

6、同轴电缆作为一对传输线时也不会受到外磁场干扰，即不会给其负载带来感性耦合电压影响。

消除感性影响的另一办法是利用绞线，就是将两根信号线绞绕（换位）几次，这样每相邻两段导线上感应的电压方向相反，可抵消。

## 第 6 章电磁波部分思考题预测：

1、为什么导线要做成多股的？

物理上容易弯曲，同时如果相互绝缘的话还能减小趋肤效应。

2、邻近效应是什么？

导体通有时变电流时，不仅会在自身产生涡流，也会在邻近导体中产生涡流。若施加的为正弦电流，则各点电流密度在一个周期内的最大值呈现两导体内侧的电流密度大于外侧的现象，这种现象称为邻近效应

3、什么叫平面电磁波？什么叫均匀平面电磁波？

平面电磁波：等相位面为平面的电磁波。

均匀平面电磁波：等相位面上 E、H 处处相等的电磁波。

4、什么叫电磁波的极化？有哪三种？

电场 E 矢量的方向或其末端随时间变化的轨迹。

1.直线极化：E 一直保持在一个方向上，但其大小随时间变化，即 E 矢量末端的轨迹是一条直线，称其为直线极化波。

2.圆极化：E 矢量末端的轨迹随着时间的变化为一个圆，称其为圆极化波。其大小不变但方向改变。

3.椭圆极化：E 矢量末端的轨迹随着时间的变化为一个椭圆，为椭圆极化波。其大小和方向均在变化。

5、什么叫色散效应？

导电媒质中电磁波的相速与频率有关。

6、海水中通信用的是高频还是低频？为什么？

海水中通信要用低频。因为根据衰减常数 $\alpha$ 的表达式，频率越高、导电性越好，电磁波就衰减得越厉害。海水本身导电性就好，所以通信更应该用低频。

#### 7、怎么屏蔽高频电磁场（即电磁波）？

根据透入深度的表达式 $d = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}$ ，电磁波在导体板上透入深度很小，反射很强。

所以放一块导体板就能把电磁波反射掉。

### 实际工程问题的解释&其他想到的要点补充：

#### 1、导体壳屏蔽外部静电场的原理？

任意形状的等位面包围区域内若无电荷，则场一定为0（高斯定理）。

#### 2、若为交变场可完全屏蔽吗？为何？

不能。壳内有电流、有压降，壳内外均不是等位面，内面有电位差故有场强。内部场强与导体的电导率有关，电导率越大场强越小。但一般比外面的场会小很多。

#### 3、1) 高压输电线路带电作业人员为何不会被电死？

#### 2) 人会受到交流电场的损害吗？输电线下人员会受到电场影响吗？

#### 3) 带电作业人员为何穿金属丝防护服？

交变电场对导体（人体）的影响是类似静电感应原理在导体内产生电流。穿防护服后内部场强会减小很多，但不是零，取决于防护服的质量、材料的电阻与编丝间距大小。穿防护服后人体内感应的电流被大大减小了。

#### 4、金属丝网状结构屏蔽层的静电场屏蔽效果分析：

- 电荷分布在金属丝外侧面的一个小圆弧范围内，内侧面无电荷。
- 这样分布的电荷可否抵消内部的场？场不会像空气一样透入到内部，距离表面稍远的区域场仍然可降为零。
- 先考虑此时的等位面，网状结构由于金属丝是等电位的，其环绕的网孔区域的等位面会略微向内凹陷
- 这种带有很多凹进小坑的等位面内的电场仍然为零。

为什么？因为任意形状的等位面包围的区域内若无电荷，则场一定为零。

反证法：试想，若域内有一点的电位高于边界值，根据电位的变化率为场强，则该点必有指向周围边界的场强，此点必有散度源，这与区域内无电荷是矛盾的。

#### 5、金属编丝网状结构屏蔽层对时变电场的屏蔽效果分析（屏蔽服）

内部场强主要取决于壳体中的电流与电阻，实际上是压降。金属丝之间要相互接触，形成良好电流通路，有效减小电阻。

金属网的电阻越小，内部场强就越小，屏蔽效果就越好。就算电阻较大，内部场强也仍然会比外场小很多，在内部人体上产生的电流较不穿屏蔽服会小很多。

顺便指出，人接触交流输电线下对地绝缘的大金属物体（如汽车），会在人体内产

生较大电流。

6、增加高压电器设备绝缘强度的措施：1、变压器里灌油，2、密封的设备中充入六氟化硫气体，3、表面包一层绝缘纸。

7、在 10 多米高处悬挂的一条高压直流输电线，在电压一定的情况下，导线半径越大，则导线表面电场强度是越大还是越小？地表面的场强是越大还是越小？

解：设电压为  $U_0$ ，导线半径为  $R$ ，导线对地距离为  $h$  ( $h \gg R$ )，电荷线密度为  $\tau$

用电轴法计算导线表面电位：

$$\frac{\tau}{2\pi\epsilon} \ln \frac{2h}{R} = U_0$$

得到

$$\tau = \frac{2\pi\epsilon U_0}{\ln \frac{2h}{R}}$$

所以在导线和镜像的连线上，离导线距离为  $r$  的地方的电位为：

$$\varphi = \frac{U_0}{\ln \frac{2h}{R}} \ln \frac{2h-r}{r}$$

电场强度为：

$$E(r) = -\frac{d\varphi}{dr} = \frac{U_0}{\ln \frac{2h}{R}} \frac{2h}{r(2h-r)}$$

导线表面的电场强度：

$$E(R) = \frac{U_0}{\ln \frac{2h}{R}} \frac{2h}{R(2h-R)} \approx \frac{U_0}{R \ln \frac{2h}{R}}$$

$$\frac{dE(R)}{dR} = \frac{U_0 \left(1 - \ln \frac{2h}{R}\right)}{\left(R \ln \frac{2h}{R}\right)^2} \leq 0$$

所以随着  $R$  的增大，导线表面电场强度变小。

地面电场强度  $E(h) = \frac{U_0}{\ln \frac{2h}{R}} \frac{2h}{h(2h-h)} = \frac{2U_0}{h \ln \frac{2h}{R}}$ ，随着  $R$  的增大，地面电场强度增大。

8、对于高压输电线路，下雨天的导线电晕程度是增加还是减小？为何？

附着在导线上的水滴可以视为导体，水滴挂在导线上，使得某些地方导体表面的曲率半径减小，该处的电场强度增大，电晕程度增大。

9、如何减小接地电阻？

增加接地极表面积、减小电极周围的土壤电阻率。