



## 浅谈两种常用电势零点选择的兼容性

冀敏 蒋平

(复旦大学物理系, 上海 200433)

**摘要** 高校基础物理教学必然涉及电势的零点选择. 通常除选无穷远处为电势零点外, 实用上还选地球的电势为零. 当不考虑地球自身所带的电荷时可将其看作一硕大的中性导体球. 如地球周围空间并无电荷分布, 空间不存在电场; 因而必与无穷远处等势. 如取无穷远处为电势零点, 地球的电势必也为零. 当地球上分布有限电荷时, 由于其电容很大, 电势改变甚微, 仍可在一定近似程度上看作零; 即地球和无穷远二者均取作电势零点近似兼容.  $3.3 \times 10^{-5} \text{ C}$  的正电荷分布在地球表面时电势不到  $0.05 \text{ V}$ . 但是, 由于地球本身带有负电荷, 使其周围存在指向地面的电场, 地球和无穷远处取作电势零点便不再兼容.

**关键词** 零电势; 电容; 兼容

## SHALLOW TALK ABOUT THE COMPATIBILITY OF TWO COMMON SELECTIONS FOR THE ZERO POINT OF ELECTROSTATIC POTENTIAL

Ji Min Jiang Ping

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433)

**Abstract** Basic physics teaching in college necessarily involves the choice of zero point of electrostatic potential. Usually infinity is chosen as zero point of electrostatic potential, but practically the electrostatic potential of earth is also chosen as zero. When the inherent negative charge on the earth is not considered, the earth can be modeled as a huge neutral spherical conductor. If there is no charge surrounding the earth, there is no electric field in space. So the earth has equal electrostatic potential to infinity. When the charge distribution on the earth is considered, there is just little change on its electrostatic potential because of the huge capacitance of the earth. Qualitative and quantitative analysis show that two selections of zero point of electrostatic potential are approximately compatible. For example, the potential of the earth is less than  $0.05 \text{ V}$  when the positive charge on its surface is  $3.3 \times 10^{-5} \text{ C}$ . However, due to the inherent negative charge on the earth, the electric field pointing to the ground exists surrounding the earth. In this case, the two selections of zero point of electrostatic potential are no longer compatible.

**Key words** zero potential; capacitance; compatibility

高校基础物理教学总要提到电势零点选择的问题. 一个物理量的零点需要选择, 往往说明这个物理量的数值只有相对意义, 所谓零点也只是一个数值不变的参考点; 只有两个数值之差才具有明确的物理意义. 在物理教学中需要选择零点的物理量并不鲜见, 重力势能或物体和地球之间的引力势能就是一典型的例子. 事实上重力势能的

零点可以选在重物与地心相距  $r$  时, 而  $r$  可在  $0 \sim \infty$  之间任意变化. 不过, 在中学阶段常取  $r = R$ ,  $R$

收稿日期: 2015-10-16

作者简介: 冀敏, 女, 副教授, 主要从事物理教学与研究, 科研方向为医学物理. jimin01@fudan.edu.cn

通讯作者: 蒋平, 男, 教授, 主要从事物理教学与研究, 科研方向为凝聚态物理. pjiang@fudan.edu.cn

为地球半径;即重物位处地面时为重力势能的零点;但在高校基础物理教学里往往更喜欢取  $r=\infty$  为引力势能的零点.然而,重力势能的零点虽然可任意选择,不同位置的势能零点间却并不兼容.例如选物体处地面时作引力势能的零点就不能再认为其距地心无穷远处时引力势能为零.电势也是需要选择零点的物理量,而且在以上两方面恰可以与重力势能相对照.一是静电势的零点不能任意选择,这是因为,一般而言空间任意一点的电势会受到我们所考虑的体系中电荷及电场分布的影响而改变.因此,如随意将某点选做电势零点并不能保证其电势不会变化,从而失去电势参考点的作用.二是**静电势的零点虽然不能任意选取,可常用的两种电势零点——无穷远处和地球却在一定的近似条件下兼容;就是说如将距电荷体系无穷远处选作电势零点可同时将地球的电势也看作零.**几乎每一本高校基础物理教材都会做这样的交代:如我们感兴趣的电荷体系分布在有限空间则可取无穷远处为电势零点(这是因为有限范围内局域化的电荷分布或电场分布的变化并不能波及无穷远处,因而无穷远处的电势永不改变,符合电势参考点的要求).同时,由于实际的静电屏蔽和安全保护等方面的要求常将某导体接地,因而又常取地球的电势为零.然而,只有不多的教材讨论这两处电势零点选择的兼容性<sup>[1]</sup>,就是说对电荷分布在有限空间的情形,如选取无穷远的电势为零是否可同时认为地球的电势为零且不发生变化;反之亦然.

本文即对这一问题作比较详细的分析,讨论选取地球作电势零点的合理性及其与无穷远零点的兼容性.

在分析这一问题时,我们首先不考虑地球本身所带的电荷,即将地球看成一巨硕的电中性导体球.在这一模型的前提下,无疑,如空间不存在其他电荷,从地球表面直到无穷远处均不存在电场,地球和无穷远处没有电势差.因此,如选取无穷远处为电势零点,地球电势必也为零.如果地球附近存在导体,其中有局域化的电荷分布,即电荷分布在地球附近的有限空间里,则可能因静电感应而在地表形成感应电荷;或者因导体接地而与导体之间直接产生电荷交换从而也会在地表产生电荷分布.不过,由于如此形成的地球表面的电荷往往总量有限,且要分布在全部地球表面,除

去与我们感兴趣的电荷体系相距最近的部分(可称为地球近端)而外,其他部分,包括与电荷体系相距最远的地球远端的电荷面密度实际为零,如图 1 所示.如此,由于导体表面的电场强度为  $\sigma/\epsilon_0$ ,  $\sigma$  为电荷面密度,  $\epsilon_0$  为真

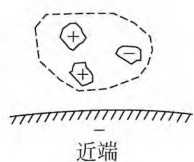


图 1

空介电常数,远端地表电场强度近似为零,而且从这一远端直至无穷远处均无电场,从而地球远端和无穷远处实际上无电势差.又因为作为巨大导体球的地球本身应为一等势体,便得到地球电势仍为零的结果.换言之,即使空间存在电荷分布,只要电荷分布在有限空间且电荷量有限,无穷远处的零电势便与地球选为电势零点二者近似兼容.这一定性分析可以用一定量的例子予以佐证.设想两等量同号的点电荷,彼此间相距 1m 时的排斥力为 9.8N,即 1kg 物体的重力,则每个点电荷的电荷量约为  $3.3 \times 10^{-5} \text{C}$ .而数量为  $3.3 \times 10^{-5} \text{C}$  的正电荷如均匀分布在地球表面,其电势(将无穷远处选为电势零点)约为 47mV.可见,与“零”相差无几;即在一定的近似程度下可以认为地球电势也为零.就是说,在通常所涉及的情形下认为无穷远与地球均为零电势并不会产生太大的误差;或者说这两种零电势的选择在一定的近似条件下是兼容的.其实,问题的关键在于地球“大”.将地球看作一巨型导体球,其电容  $C=4\pi\epsilon_0 R$  很大,而电势为  $V=\frac{Q}{C}=\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$ ,  $Q$  为其上的电荷.可见,因为  $R$  足够大,这一大电容导体上有限的电荷变化并不能明显地改变其电势.

下面就两个常见的例子讨论在体系涉及地球的情形如取地球和无穷远的电势同时为零如何分析体系中的电势分布.

**例 1:** 使一半径为  $R_1$  带正电  $Q$  的导体球靠近一棒状绝缘导体,如图 2 所示.由于静电感应,导体棒近端  $C$  处出现感应负电荷,因而导体球上的电荷及其周围的电场分布要发生变化,不再有球对称.值得注意的是,由于棒距导体球的远端  $D$  出现正电荷,其附近电场不为零,因而将单位正电荷由  $D$  点沿棒的轴线向右移至无穷远的过程中电场力做正功不为零.换言之,此时棒的电势大于零.如此时再将  $D$  端接地,如图 3 所示,则该处感应正电荷应消失而分布至全部地球表面.实际上导体



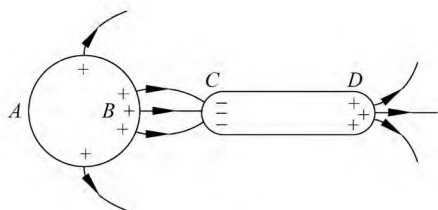


图 2

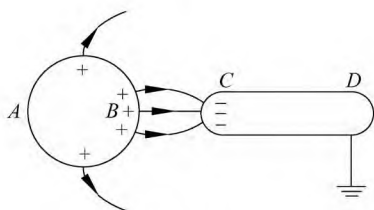


图 3

棒此时已成为地球的延伸部分,当然电势由大于零降为零,因为原在  $D$  处的正感应电荷不复存在,影响消失.同时,由于导体棒  $C$  端感应负电荷的影响,导体球的电势低于孤立导体球的电势.

**例 2:** 这是一道经典的练习题. 设上述带电导体球外同心套一内外半径分别为  $R_2$  和  $R_3$  的导体球壳构成一球形电容器, 由于导体球自身带正电荷  $Q$ , 静电感应使球壳内表面带负感应电荷  $-Q$ , 而外表面则带正感应电荷  $Q$ . 若此时将外壳接地, 其外表面感应电荷消失而分布至地球表面, 如图 4 所示. 但球壳内表面的电荷与球壳内的电场分布均不改变. 显然, 此时球壳外的电场实际上消失, 球壳电势应近似为零; 零电势既是无穷远处的电势也是地球的电势, 两个电势零点兼容. 注意此时导体球的电势为  $V = Q/C$ ,  $C = \frac{4\pi\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}$  为此球形电容器的电容. 如果现在将球壳接地线拆去, 改使导体球接地, 如图 5 所示. 在两个电势零点兼容的前提下导体球的电势将从  $V$  降至地球的零电势. 其上电荷也由  $Q$  降至  $Q'$ , 经计算可得  $Q' = Q \frac{R_1 R_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 - R_1 R_3} > 0$ . 同时, 外球壳电势也从零下降为负. 导体球的这一电势下降是由于导体球上正电荷的减少. 此时, 导体球和球壳间的电势差下降至恰与球壳负电势的绝对值相等.

应该指出, 如体系的电荷分布延伸至无穷远处, 以上讨论不再适用, 因为此时不再能选择无穷

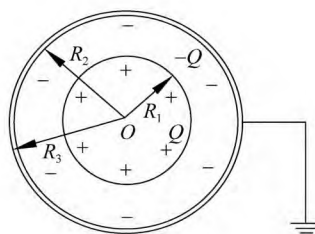


图 4

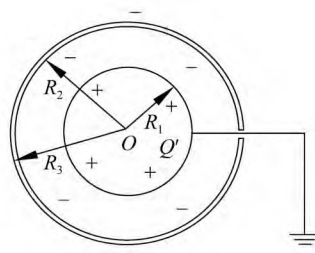


图 5

远处为电势零点.

必须强调的是, 以上的讨论都是以地球为电中性作前提的. 事实上地球表面存在负电荷, 而等量正电荷存在于电离层内; 因此可用一巨大的充电球形电容器来模拟地球附近的电学状态. 地球表面的电场达  $100\text{V/m}$  以上的高值<sup>[2]</sup>, 一般而言是不应被略去的. 从这一点来说, 如真取无穷远处为电势零点, 地球的电势将为负数十万伏, 完全不能看作零. 不过计及地球本身的电荷, 由于地球硕大, 虽然仍可将地球作为电势的参考点取为零电势, 只是不再能将无穷远也取为电势零点使二者兼容. 而且, 地球表面的一切静电现象原则上应考虑地球本身电场的作用. 如要消除地球电场的影响, 静电学的实验应在大的屏蔽室内进行. 屏蔽室四壁和房顶、地板均用金属网可靠接地, 且作为实验对象的电荷体系也应置于屏蔽室当中而远离四壁、房顶和地面. 这样, 接地的屏蔽网既可当作地球的延伸, 又可当作无穷远而不受体系电场的影响.

#### 参 考 文 献

- [1] 陈秉乾, 王稼军. 电磁学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003: 34-35.
- [2] 张三慧. 电磁学[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 1999: 115-116.