

基于 ANSYS 的浅层土壤温度场特征模拟分析

于洋, 谭峰*, 廉琦, 韩国鑫, 辛元明, 张乃夫 (黑龙江八一农垦大学电气与信息学院, 黑龙江大庆 163319)

摘要 通过分层安装温度传感器采集黑龙江省大庆市某地区的浅层土壤温度值, 运用 ANSYS 有限元分析软件对地下 1 m 内土层进行相应的模拟分析, 探究地下浅层土壤温度场的变化特征。结果表明: 地下土壤深度为 70~100 cm 范围内的温度变化趋向比较相近, 整年白天的地表最高温度在 7 月, 最低在 12 月, 3—5 月、7—9 月的地表温度变化趋向均高于地下浅层土壤温度, 土温整体是呈地表向地下逐渐降落的趋向; 整年黑天的最高地表温度在 7 月, 最低在 12 月, 4—5 月、7 月的地表温度变化趋向均大于地下浅层土壤温度, 土温随深度的增加呈地表向地下逐渐增高—降低—增高的趋向。

关键词 土壤温度场; ANSYS 软件; 模拟分析

中图分类号 S151.9⁺5 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)35-0102-03

Simulation and Analysis of Shallow Soil Temperature Field Based on ANSYS

YU Yang, TAN Feng*, LIAN Qi et al (College of Electrical and Information Engineering, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319)

Abstract In order to explore the change of soil temperature field in shallow layer of soil in this paper, temperature sensor was stratified installing to collect the shallow soil temperature in an area of Daqing, Heilongjiang. Simulation analysis of the surface temperature was carried out by mainly using the finite element analysis software ANSYS. The results showed that: Soil temperature variation in the range of underground 70-100 cm was close. The maximum surface temperature of the annual day was in July, the lowest was in December, the surface temperature change trend in March-May and July-September were greater than the shallow underground soil temperature, the soil temperature of the ground surface to underground showed a downward trend; The highest surface temperature of the annual night was in July, the lowest was in December, the surface temperature transformation trend in April-May and July was greater than the shallow underground soil temperature, with the increase of depth, temperature increased firstly, then decreased and increased gradually from surface to underground of soil.

Key words Soil temperature field; ANSYS software; Simulation analysis

土壤温度作为影响农作物生长的重要因素之一, 有着十分重要的研究意义。适宜的土壤温度有利于农作物的种植, 使得农作物实现高产高效。地表温室大棚的热传递受外界气候条件的影响, 而地下或半地下温室大棚不仅受外界气温的影响, 而且还受土壤深埋或地下土壤温度的影响^[1]。贾红等^[2]运用传统数值分析方法研究日光温室的土壤温度变化特征, 但传统数值方法可能存在较大的计算量。吴凤日等^[3]运用人工控温法, 研究不同土壤类型、不同土壤温度梯度对大豆、玉米种子出苗率的影响, 得出大豆、玉米的出苗率和土壤温度呈正相关关系, 但人工控温可能需要大量的劳动力。商厚胜^[4]运用 ANSYS 软件研究人工冻土冻结、强制解冻温度场的变化。刘饶^[5]运用 ANSYS 软件模拟埋地管的换热特征以及土壤的温度场变化。

在以往的研究中, ANSYS 软件分析主要应用于工程模拟中, 在农业发展方面的研究比较有限。由于 ANSYS 具有分析结果清晰、直观等优点, 因此, 运用 ANSYS 软件对浅层土壤温度场进行建模分析, 得出土壤温度的变化规律及趋向云图, 为日后研究温室大棚内部微环境热分析方面做出相应的前期理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料选取

研究黑龙江省大庆市某地区地下浅层

土壤温度场, 采用 DS18B20 数字温度传感器采集相应地下 1 m 内, 不同时间、深度的土壤温度值, 0~1 m 共地理 7 组传感器, 该研究所采取的温度传感器具有形态较小、硬件价格较低、抗外界干扰能力较强、精密度较高等特点, 测量温度误差大约为 1℃。

1.2 试验方法 首先选取数据库中某年整年的土壤表层及地下 1 m 内土壤温度进行初步的数据处理, 以某日日平均值为开始, 每隔 1 个月进行散点的录入, 分别用试验深度 0、10、30、50、70、85、100 cm 绘制散点图, 模拟某年整年昼、夜地下 1 m 内不同土层的温度大致分布趋向; 同时, 运用 ANSYS 有限元分析软件对地下 1 m 内的土壤温度进行模拟分析, 得到相应的昼、夜温度分布云图。

2 结果与分析

2.1 整年白天、黑天的土壤温度趋向模拟 以某年整年地表与地下土壤温度为例, 首先, 以某日日平均值为起始点, 每隔 1 个月进行散点录入, 模拟的土壤温度场深度为地表至地下 1 m。通过图 1、图 2 的土壤温度分布趋向图, 可以直观得出地下土壤深度 70~100 cm 的温度变化趋向非常相近; 整年白天的最高地表温度在 7 月, 最低温度在 12 月, 温度差大约为 46.01℃, 3—5 月、7—9 月的地表温度均高于地下各层土壤温度, 12 月地表温度与 100 cm 的温度差最大, 为 17.5℃; 整年黑天的地表最高温度在 7 月, 最低温度在 12 月, 温度差大约为 45.06℃, 4—5 月、7 月的地表温度均大于地下各层土壤温度, 12 月地表温度与 100 cm 的温度差最大, 为 18.95℃。

2.2 土壤温度场的物理模型建立

2.2.1 土壤温度分布 环境温度的变化会对土壤表层温度

基金项目 黑龙江省自然科学基金项目(F201329); 国家科技支撑项目(2014BAD06B01); 校博士启动基金项目(XDB2013-18); 大庆市科技计划项目(ZD-2016-057)。

作者简介 于洋(1994—), 女, 辽宁西丰人, 硕士研究生, 研究方向: 农业电气化与自动化。* 通讯作者, 教授, 博士, 从事智能化农业信息处理研究。

收稿日期 2017-09-28

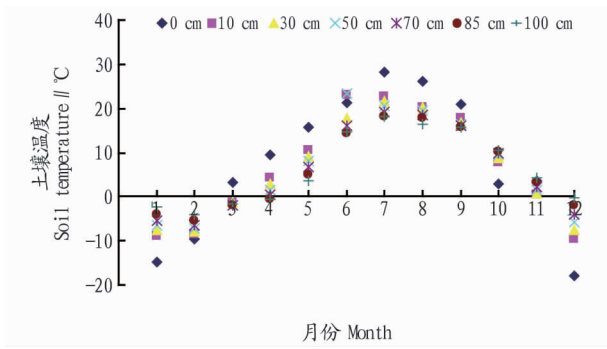


图1 整年白天土壤温度模拟

Fig. 1 Analysis and simulation of soil temperature in daytime of whole year

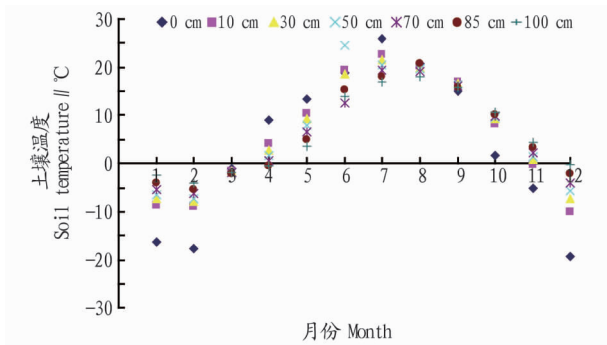


图2 整年黑夜土壤温度模拟

Fig. 2 Analysis and simulation of soil temperature in the night of whole year

产生一定的影响,这种影响通常呈周期性变化,并具有一定的变化特性,应用相关学者研究的土壤温度场耦合热传导-对流方程^[6]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \left(-\frac{c_w}{c_g} w \theta \right) \frac{\partial T}{\partial z} \quad (1)$$

式中, T 为土壤的温度, t 为时间, k 为土壤的热扩散率, c_w 为土壤液态水的体积热容量, c_g 为土壤体积热容量, z 为土壤深度, w 为土壤液态水的垂直运动速度, θ 为土壤的含水量。

按照区域差异,可以将主要的参数值代入上式,即可计算出土壤不同时间、深度对应的土壤温度。随着土壤深度的增加,地表温度变化对土壤温度的影响会相应的减小。

2.2.2 地下土壤的不稳定温度场假设性描述。为了便于理论分析,将该研究内容简化为2维剖面图,并做出以下假设^[7]:研究的地下土壤为平均状况,且为各方向同性的固体物质,其各相关物理热参数均为常数。由于地下结构为纯土,暂不考虑相应的流体反应等外界影响因素,因此在进行模拟分析时认为试验所测得的数值考虑为实际土壤温度,地下土壤环境为理想状态,不考虑因为土壤中含水量变化而引起的热迁移。

2.3 ANSYS 热分析 热分析主要适用于计算某研究系统或部分的温度分布及另外的热相关物理参数^[8],ANSYS 热分析主要分为2种传热状况,划分为稳态传热和瞬态传热^[9]。

(1)稳态传热。主要应用于不变的热荷载对研究系统或部分的影响分析,假设系统流入的热量和系统自己产生的热

量之和与系统流出的热量值相等: $q_{\text{流入}} + q_{\text{生成}} - q_{\text{流出}} = 0$,那么系统处于热稳态,稳态热分析能量平衡的方程运用矩阵形式表达为:

$$[K] \{T\} = \{Q\} \quad (2)$$

式中, $[K]$ 为传导矩阵,包括导热系数、对流系数及辐射率和形状系数; $\{T\}$ 为节点温度向量; $\{Q\}$ 为节点热流率向量,包括热生成。

(2)瞬态传热。主要应用于计算某系统随时间变化的温度场和其他热参数。按照能量守恒原理,瞬态热平衡运用矩阵形式表达为:

$$[C] \{T\} + [K] \{T\} = \{Q\} \quad (3)$$

式中, $[K]$ 为传导矩阵,主要包括导热系数、对流系数及辐射率和形状系数; $[C]$ 为比热矩阵,考虑系统内能的增加; $\{T\}$ 为节点的温度向量; $\{T\}$ 为温度对时间的导数; $\{Q\}$ 为节点热流率向量,包括热生成。

2.3.1 定义土壤导热及边界条件。研究中所建模型中每个节点应该有唯一的解的热平衡方程,因此,有必要对相应的边界条件进行设置^[6,10]。

(1)导热公式:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \left(\frac{\lambda}{c_g} \right) \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (4)$$

式中, T 为土壤的温度, t 为时间, c_g 为土壤体积热容量, λ 为土壤的热传导率, z 为土壤深度。

(2)边界条件:

$$T|_r = T_0; T|_r = f(x, y, z, t) \quad (5)$$

式中, Γ 为物质的界限, T_0 为已知的温度数值, $f(x, y, z, t)$ 为已知的温度函数。

依据有限元相关基本原理并建立相应的非稳态温度场的数学模型,可以对相应的土壤温度场进行求解^[11]。

2.3.2 运用 ANSYS 求解温度场。

(1)建立有限元模型:首先,设置 working file name、title 和 unit,进入预前处理器选择相应的 Element Type、Material thermal performance parameter 等;然后,创建几何模型,划分网格^[12]。该研究的土壤深度分别设置为0、10、30、50、70、85、100 cm,划分网格结果如图3所示。

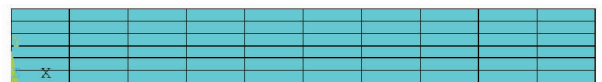


图3 划分网格

Fig. 3 Mesh partition

(2)施加荷载:定义热分析类型,施加荷载。

(3)选择 Time/Frequec 选项进行相应求解,选择非线性选项,输出控制。

(4)后处理。以某年整年大致变换趋向为例,进行详细研究,初始条件是计算开始时的土壤导热系数、密度和比热容,边界分别为某年昼、夜地表温度和距离地表1 m处的土壤自然温度^[13-14]。

2.4 ANSYS 模拟土壤温度场结果

2.4.1 某年白天 DOF Solution 和 Thermal Flux 云图输出结

果。由图 4 可知,整年白天,土壤温度由地表向地下随着深度增长而逐渐下降,在地下 0~70 cm 土层内,土壤温度呈降温-升温的趋向,50 cm 左右温度最低,地表温度值最高,这种现象伴随着土壤深度而加大,逐渐减弱,在接近 100 cm 左右的土层,温度呈由低到高缓升的趋向。由图 5 可知,整年的白天,土壤热通量呈降温-升温的趋向,热通量的最大值普遍位于地表,随着深度的增加土壤热通量逐渐在降低,当降低到一定深度时,热通量有逐渐升高-降低-升高的现象,某些土层的热通量有相似的变化趋向。

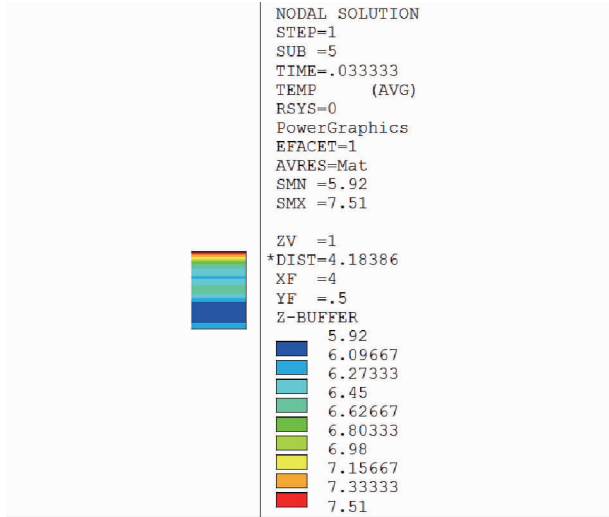


图 4 自由度解决方案(白天)
Fig.4 DOF solution (daytime)

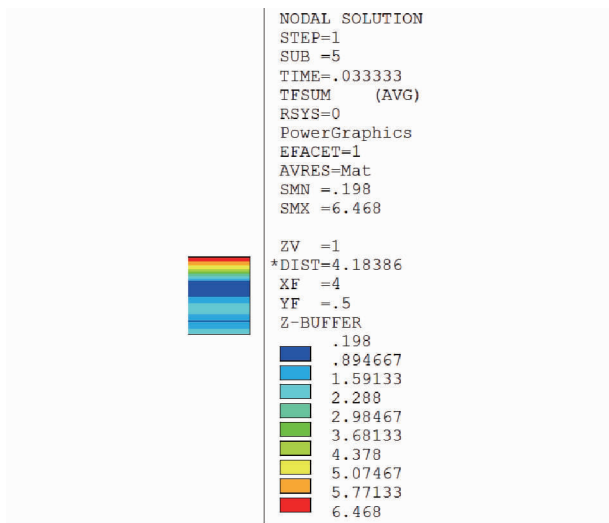


图 5 热通量矢量和(白天)
Fig.5 Thermal flux vector sum (daytime)

2.4.2 某年黑天 DOF Solution 和 Thermal Flux 云图输出结果。由图 6 可知,整年黑天,土壤温度随着深度增加是由地表向地下逐渐增温-降温-升温的趋向,在地表-50 cm 左右,土壤温度呈升高的趋向,50 cm 左右温度值最大,50~100 cm 土壤深度,土壤温度随深度增加呈降低-升高的趋向,同时,黑天土壤有蓄热的现象。由图 7 可知,整年的黑天,土壤热通量呈逐渐降低的趋向,热通量的最大值普遍位于地表,随着土壤深度的加大土壤热通量降低,当降低到一

定程度时,热通量有低值恒温的现象。

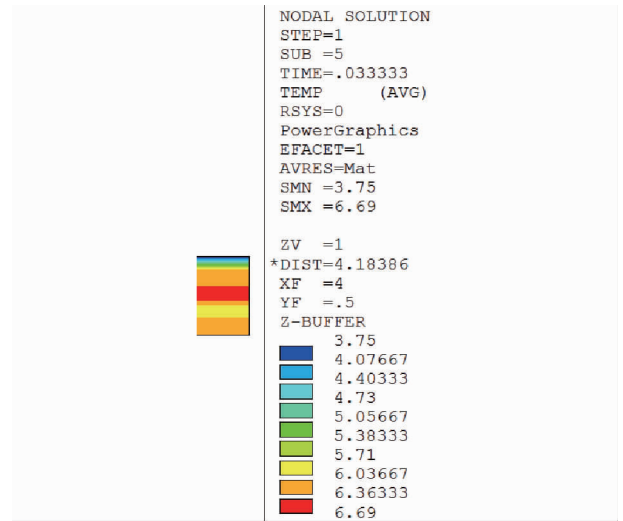


图 6 自由度解决方案(黑天)
Fig.6 DOF solution (night)

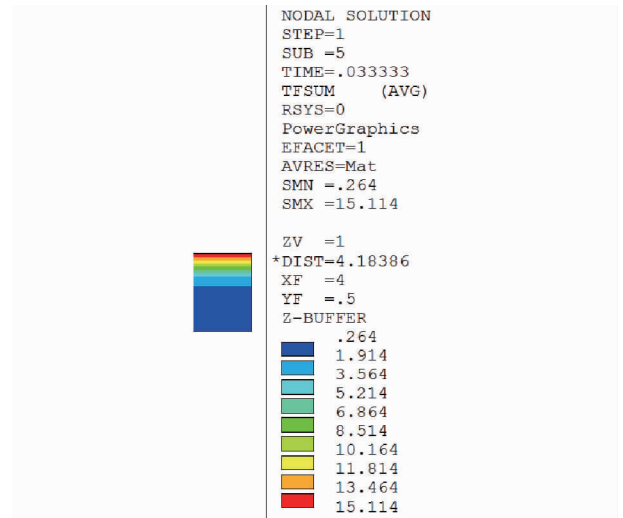


图 7 热通量矢量和(黑天)
Fig.7 Thermal flux vector sum(night)

3 结论与展望

温室大棚内的农作物种植,作物根茎所需土壤深度由于种植种类不同而有所区别,比如:根系较深的农作物,通常所需土壤深度为 40 cm;块根作物要求土层一般为 50~75 cm;谷类作物种植一般需要土壤深度为 25~50 cm。因此,主要研究地下浅层 1 m 内土壤温度场。

(1)整年白天的地表最高温度在 7 月,最低在 12 月,温度差为 46.01 °C,3—5 月、7—9 月的地表温度变动趋向均比浅层地下土壤温度高;整年黑天地表最高温度在 7 月,最低在 12 月,温度差大约为 45.06 °C,4—5 月、7 月的地表温度变动趋向均高于浅层地下土壤温度。

(2)整年白天,土壤温度随深度增加呈由地表向地下逐渐下降的趋向,地下 0~70 cm 的土壤深度内,土温呈降温-升温的趋向,50 cm 左右深度的土温最低,在靠近 100 cm 左右的土层,温度呈由低到高缓升的趋向,这种现象表明对于
(下转第 127 页)

参考文献

- [1] 林世棠, 郁晓岚, 陈炳钿, 等. 一种新的雏番鸭病毒性传染病的诊断[J]. 中国畜禽传染病, 1991(2): 25-26.
- [2] 程由铨, 林天龙, 胡奇林, 等. 雏番鸭细小病毒病的病毒分离和鉴定[J]. 病毒学报, 1993, 9(3): 228-235.
- [3] 董嘉文, 李林林, 孙敏华. 雏番鸭细小病毒病研究进展[J]. 养禽与禽病防治, 2012(10): 2-6.
- [4] 阮二垒, 陈芳艳, 陈瑞爱, 等. 雏番鸭细小病毒病的研究进展[J]. 中国动物检疫, 2009, 26(5): 68-70.

- [5] 余兵, 王永坤, 朱国强, 等. 番鸭细小病毒 M91G27 株病毒结构蛋白 VP3 编码基因的克隆与鉴定[J]. 中国预防兽医学报, 2000, 22(6): 409-411.
- [6] 李载平. 分子克隆实验指南(第3版)[J]. 科学通报, 2002, 47(24): 1888.
- [7] 程由铨, 胡奇林, 陈少莺, 等. 番鸭细小病毒和鹅细小病毒生化及基因组特性的比较[J]. 中国兽医学报, 2001, 21(5): 429-433.
- [8] 孟松树, 王永坤. 番鸭细小病毒特性的初步研究[J]. 江苏农学院学报, 1994, 15(4): 52-57.

(上接第 104 页)

地下土壤温度的变化也许还存在其他热参数的影响, 白天地面温度最高, 可能受太阳辐射等外界温度的相应影响; 整年的白天, 土壤热通量呈降温-升温的趋向, 热通量的最大值普遍位于地表, 随着深度的增加土壤热通量逐渐降低, 当降低到一定深度时, 可能受土壤中其他环境因素的影响, 热通量有逐渐升高-降低-升高的现象, 某些土层的热通量有相似的变化趋向。整年黑天, 土壤温度呈由地表向地下逐渐增温-降温-升温的趋向, 在地表-50 cm, 土温呈升高的趋向, 50~100 cm 土壤深度, 土温呈降低-升高的趋势, 这种现象表明对于地下土温的变化也许还存在其他响应热参数, 同时, 黑天土壤有蓄热的现象, 为农作物根系生长提供热能, 黑天土壤温度应该也相应地受到太阳辐射等其他外界的热影响, 相比白天, 可能相应的影响有所降低; 整年的黑天, 土壤热通量呈降低的趋向, 热通量的最大值普遍位于地表, 随着深度的增加土壤热通量逐渐降低, 当降低到一定程度时, 可能受土壤中其他影响因子的影响, 热通量有低值恒温的现象。

该研究主要为地下浅层土壤温度场特征分析及相应云图模拟, 可以较好地掌握温度变化趋向以及地下土壤温度对于地表的影响形态, 针对温室大棚内部微环境相关研究做出相应的前期理论支持。未来的研究主要为针对温室大棚内部微环境热分析。该研究处于理想状态, 对于浅层土壤温度变化可能还受到其他环境因子、热参数等影响, 今后将针对这一问题进行详细研究, 以为温室大棚内部农作物种植提供

指导。

参考文献

- [1] 朱江鹏, 周敏, 刘艳峰. 地下建筑土壤温度取值及对室内热环境的影响分析[J]. 建筑节能, 2016(1): 18-21.
- [2] 贾红, 徐为根, 彭明艳, 等. 日光温室土壤温度变化特征和预报模型研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(11): 6471-6473, 6482.
- [3] 吴凤日, 吴明根, 朱国君, 等. 土壤温度、湿度对作物种子发芽能力的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(3): 51-55.
- [4] 商厚胜. 浅覆土人工冻结的冻胀融沉规律研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2015: 17-22.
- [5] 刘饶. 夏热冬冷地区土壤源显热处理系统源测研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016: 19-38.
- [6] 张秀辉, 胡仁喜, 康士廷, 等. ANSYS14.0 有限元分析从入门到精通[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2012: 1-11.
- [7] 张艳芳. 埋地输油管道对多年冻土温度影响的数值模拟研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014: 19-31.
- [8] 章永辉. 三种土壤温度算法的对比分析: 位相法、振幅法和耦合热传导-对流法[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016: 8-14.
- [9] 董蓬, 吕全贵, 陈青云, 等. 日光温室埋地管道温度场影响因素研究: 基于 Fluent[J]. 农机化研究, 2015(10): 239-244.
- [10] JAVED S, CLAESSESON J. New analytical and numerical solutions for the short-term analysis of vertical ground heat exchangers[J]. Ashrae transactions, 2011, 117(1): 3-12.
- [11] 张朝晖. ANSYS 热分析教程与实例解析[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2007: 25-64.
- [12] 严福城. 土壤源热泵热水系统换热器周围土壤温度场研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2012: 38-47.
- [13] FERDAUS M M, RASHID M M, HASAN M H, et al. Optimal design of Magneto-Rheological damper comparing different configurations by finite element analysis[J]. Journal of mechanical science and technology, 2014, 28(9): 3667-3677.
- [14] 张朝晖, 范群波, 贵大勇, 等. ANSYS 8.0 热分析教程与实例解析[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005: 17-52.

科技论文写作规范——标点符号

标点符号按照 GB/T 15834—2011 执行, 每个标点占 1 格(破折号占 2 格)。外文中的标点符号按照外文的规范和习惯。注意破折号“——”、一字线“—”(浪纹线“~”)和短横线“-”的不同用法。破折号又称两字线或双连划, 占 2 个字身位置; 一字线占 1 个字身位置, 短横线又称半字线或对开划, 占半个字身位置。破折号可作文中的补充性说明(如注释、插入语等), 或用于公式或图表的说明文字中。一字线“—”(浪纹线“~”)用于表示标示相关项目(如时间、地域等)的起止。例如 1949—1986 年, 北京—上海特别旅客快车。参考文献范围号用“-”。短横线用于连接词组, 或用于连接化合物名称与其前面的符号或位序, 或用于公式、表格、插图、插图、型号、样本等的编号。外文中的破折号(Dash)的字身与 m 宽, 俗称 m Dash, 其用法与中文中的破折号相当。外文的连接符俗称哈芬(hyphen)。其中, 对开哈芬的字身为 m 字身的一半, 相当于中文中范围号的用法; 三开哈芬的字身为 m 字母的 1/3, 相当于中文中的短横线的用法。