虚拟现实技术在输电线路施工的应用

介绍了基于Google Earth、Sketch Up和ProE等软件的三维虚拟施工技术在输电线路工程建设中的应用实践。对输电线路仿真系统的建立进行了总结，在计算机技术、GPS定位技术的支持下，对输电线路的施工过程进行了虚拟仿真模拟，从而发现施工中可能存在的难点。在实际的施工中，采取有效的措施对这些技术难点进行避免和解决，从而实现项目的可控性，降低工程输电线路的施工成本，优化施工方案，提高工程质量。

肖　峰/国家电网公司交流建设分公司
高正平　朱海峰　黄士君　宗炫君/国网江苏省电力公司经济技术研究院

肖　峰/高级工程师

关键词/Keywords
虚拟现实技术·
输电线路·
三维模型·
计算机·

0　引言

输电线路虚拟现实施工技术是指通过计算机软件对施工现场进行仿真模拟，采用卫星地图虚拟现实技术对其进行定位选线，模拟现场的定位和施工情况，发现存在的难点。以便在实际的投资、设计和施工中，采取有效的预控措施，确保项目的可行性，有效降低投资成本、降低施工难度、减少风险及缩短工期，确保项目的正常运行[1-3]。

输电线路工程有路径长、范围广及沿线环境复杂等特点，想要获得沿线地形地貌较为困难。特别是在地形复杂的高山，如果只靠人力去搜集信息，往往是一天只能搜集到一两个基塔的信息，造成人力、财力和时间等资源极大的浪费。Google Earth卫星地图软件较好地解决了这一难题。以Google Earth软件提供的卫星地图为底板，再利用Sketch Up、ProE等三维建模软件建立输电线路施工各个模块的三维模型，最后将三维模型导入到卫星地图中，实现虚拟和现实的结合。通过不同模块间进行干涉分析、受力计算、可靠性论证和施工顺序确定等，实现三维虚拟施工[4-5]。

输电线路虚拟模拟技术现多为三维技术，其4D技术更多是在摸索之中，应用于工程实例的还极少，三维虚拟现实技术不需要消耗实际的资源，所有过程都是在计算机软件中进行模拟，能够为施工过程提供相关经验。通过虚拟现实模拟技术，设计单位、业主单位、施工单位及监理单位，都可以清楚地了解到整个施工过程和结果，在实际施工的时候减少了各项风险，确保了项目的质量[6]。

1　输电线路施工虚拟仿真系统的建立

1.1　输电线路虚拟施工技术路线

输电线路虚拟施工技术路线是虚拟仿真系统建立的关键，具体如图1所示。

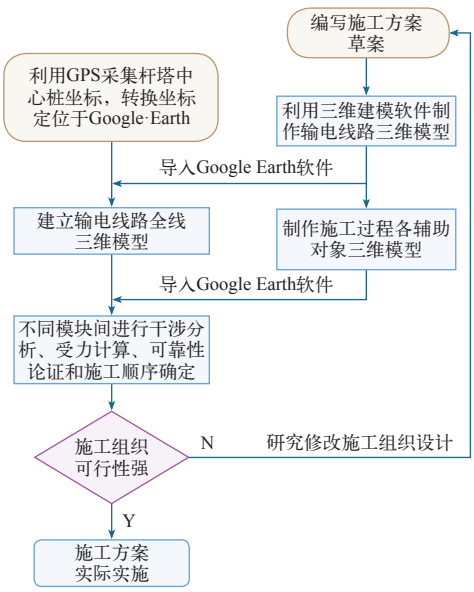

图1　输电线路虚拟施工技术路线

1.2 杆塔中心桩定位与地标建立

在Google Earth主界面中输入经纬度如“28°02′01.92″北，120°31′32.85″东”，按回车确认后即可“飞”到指定的坐标点，也就在地球上定位了一基塔的中心桩位置。工具栏选择添加/地标，在对话框里可自定义杆塔名称，地标显示图样可选择，也可用自己的图标。字说明栏中，可以根据实际的需要添加本基杆塔的属性，例如转角度数、前后档距、杆塔型号和基础形式等信息，如图2所示，这样就将塔位坐标进行了确定。

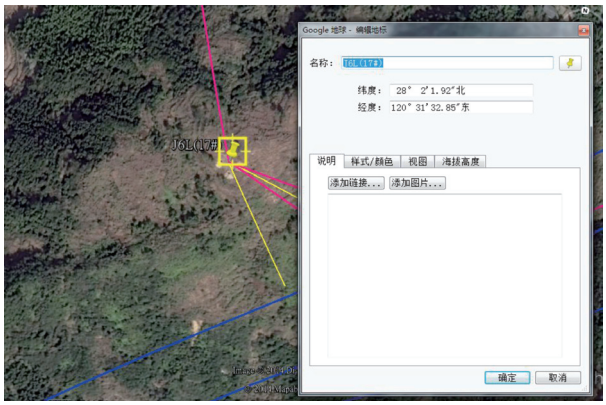

图2 创建杆塔中心桩坐标

1.3 利用Sketch Up制作输电线路工程三维模型

根据施工图样，利用Sketch Up、ProE软件，制作输电线路和相关施工对象三维模型。如图3、图4所示。

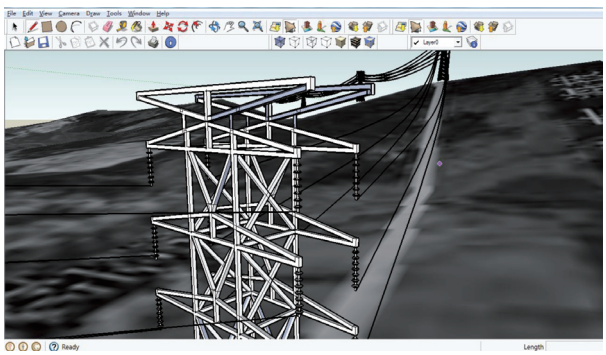

图3 运用三维建模软件建立输电线路模型

制作完成后，将模型导入并准确定位于Google Earth卫星地图软件，实现线路施工模型三维可视化，如图5所示。

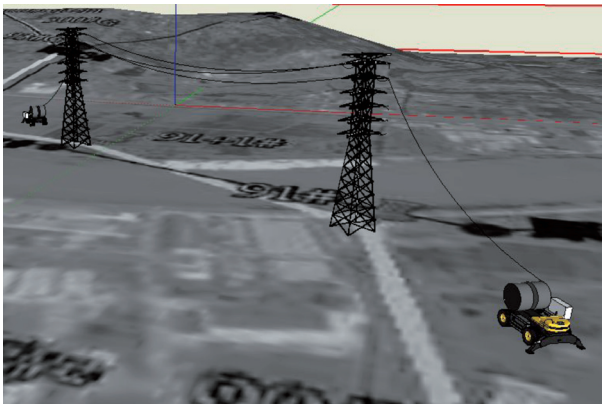

图4 运用三维建模软件建立施工对象模型

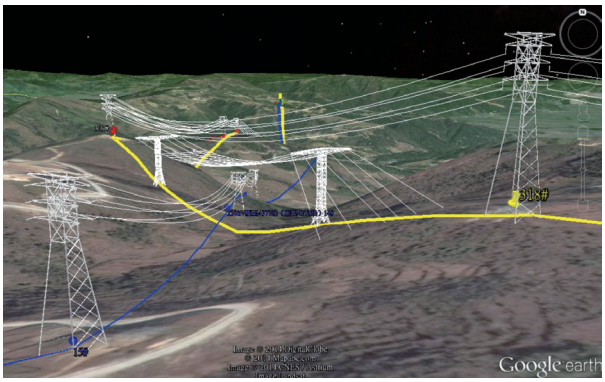

图5 工程施工三维模拟图

1.4 工程相关信息与三维仿真模型相结合

工程施工涉及到的信息量往往非常大，如果在虚拟施工的同时再去查阅图样和书籍会造成较大的时间浪费。为此，在虚拟施工准备阶段就把可能利用到的信息添加到仿真系统中。

（1）叠加等高线

在Google Earth的界面下方状态栏中，可以获得当前点的经纬度、海拔数据，如果想进一步了解线路所在地区详细地形分布，可以作出等高线。具体方法是：下载所需区域的SRTM3地理数据，再利用Global Mapper软件制作等高线，保存为KMZ文件后加载到Google Earth即可，如图6所示。

（2）添加每个作业点的建设状态信息

选中杆塔的图标，单击右键，查看属性，找到描述项，从而对杆塔的资料进行编辑，可以添加杆塔建设状态、编号和基础型式等相关信息。打开“地标库”，双击某条线路上的杆塔，自动

图6　卫星地图添加等高线效果图

回弹出一个杆塔属性框，可查看该基杆塔的所有属性，对于缺少的杆塔信息可以进行补充。图7为单击杆塔后出现的工程状态信息效果图。

2.5　施工过程模拟实施优化调整

技术人员在线路施工模型三维可视和相关施工信息触手可及的基础上，对不同模块间进行干涉分析、可靠性论证和施工顺序确定。从而实现对施工中所需材料、人力、物力以及各类流动信息进行全面的模拟，从而找出施工中的难点和问题所在。在施工前就可以采取有效的方案对其进行控制，对于不合理的施工方案，可以通过虚拟现实模拟进行调整，从而有效地实现施工作业的可控性，降低施工成本，缩短施工工期，提高工程质量。

2　三维虚拟施工的技术支撑体系

三维虚拟施工涉及到多个领域，其主要是由虚拟地球技术、计算机仿真技术、建模、优化技术和相关硬件组成。

2.1　虚拟现实技术

虚拟现实技术主要是指通过计算机图形技术、GIS技术和卫星影像技术等多种学科，将真实的三维界面展现在大家的面前，在多维信息空间上创建了一个虚拟的信息环境，将相关工程的物理点落在这个虚拟的信息环境中，给用户身临其境的感觉[7]。

2.2　计算机仿真技术

计算机仿真技术的应用范围较广，多应用于建筑物施工的虚拟现实模拟中，在杆塔组装等领域也开始有所应用，能够更加直观地了解到整个施工过程，确保了施工的安全和可靠。

2.3　软硬件基础

输电线路虚拟施工系统是已有的三维绘图技术与计算机仿真技术、数据库技术、计算机网

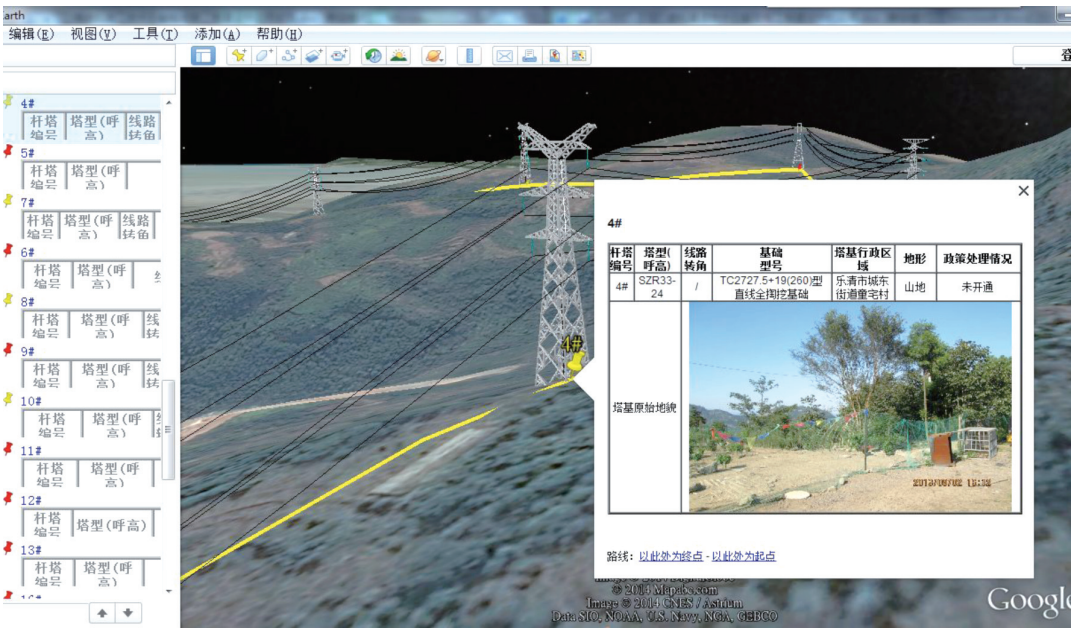

图7　工程状态信息显示效果图

络技术和虚拟地球技术等学科技术的综合系统集成，因此其相关软件也是多方面的[8]，如AUTO CAD、Pro E、Sketch Up和Google Earth等。相关硬件主要有全站仪、经纬仪和GPS定位仪等。

3 工程应用情况

3.1 应用一

500 kV某电厂送出工程是“十二五”期间的重要电网工程，对保证该电厂4台100万kW机组全部电力的送出，提高北京电网的受电能力和供电保障能力具有十分重要意义。

工程89#～90#跨越京沪铁路，跨越点地形为田地铁路高架桥，京沪铁路客流量大，车次多，安全性要求极高，如图8所示。

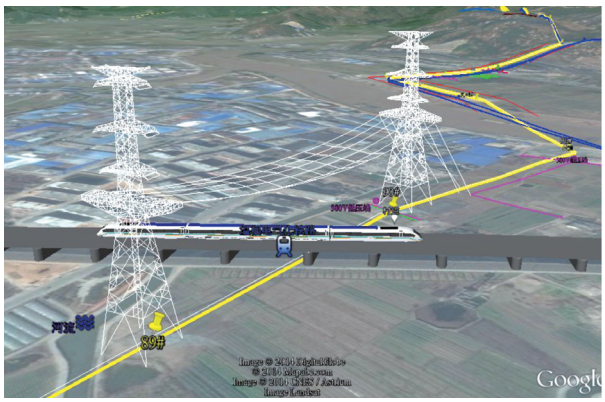

图8 89#～90#跨越京沪铁路虚拟施工

工程318#～319#跨越220 kV京石133线（京津134线）双回输电线路，该220 kV电力线路情况特殊，不能停电卸线，因张力放线施工需要，为保证220 kV输电线路的安全运行及本工程张力放线施工的安全、顺利进行，采用新建临时辅助塔封网进行跨越施工，如图9所示。

500 kV输电线路跨越京沪高铁和带电220 kV电力线路架线两项施工任务对安全和时间的要求非常高，为了保证正式施工的百分百安全顺利进行，在正式施工前此两项工程都进行了虚拟施工，并进行方案优化。最终，两项施工任务均安全圆满完成，保证了电厂送出工程如期竣工投运。

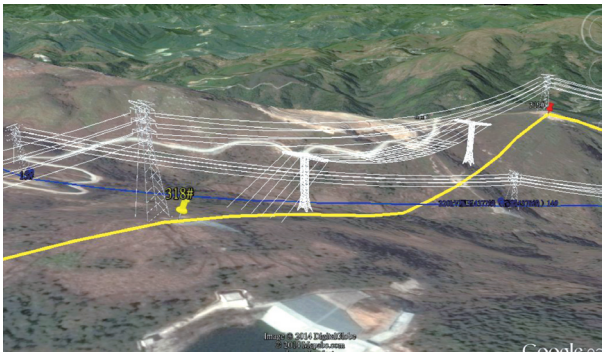

图9 318#～319#跨越220 kV双回输电线路虚拟施工

3.2 应用二

苏通长江大跨越线路将采用耐－直－直－耐的跨越方式，跨越档距分别为“1 093 m－2 600 m－1 344 m”，大跨越耐张段长度为5 037 m。两基跨越塔均立于江中，跨越直线塔全高455 m，该塔将创造输电塔结构世界第一高度。跨越塔基础采用灌注桩群桩高桩承台基础，每基基础采用92根变直径钻孔灌注桩，桩长均为85 m。桩基承台为4个圆形单腿承台加系梁连接形式，承台平面尺寸达到120 m×130 m。在长江下游江心深水区建设如此大规模的高桩承台基础，搭建水上施工平台，组立建造特大型输电杆塔以及超大档距超高放线等施工作业在国家电网公司尚未有先例，给我国输电线路建设技术提出了新的挑战。为保证项目施工安全、高效、有序和可控，在苏通长江大跨越线路中，采用了特高压钢管塔。特高塔结构复杂，施工技术和工艺要求极高，亟需开展特高塔组塔三维模拟、仿真研究，推进特高塔优质、安全和高效建设。使用三维可视化技术，真实详尽地再现施工现场的情景，利用特高压工程全线的真彩色航空影像，生动、逼真地模拟出现场施工环境。利用模拟的施工现场在招标调查时可以帮助投标单位详细了解施工现场，可以在室内完成线路复测，组塔施工时可以为组塔方案的选择提供参考和依据，在架线施工中可以从宏观上合理地进行区段划分，根据地形地貌预先制定合理的施工计划，特别是进度虚拟模拟技术，这在国内是首例。

在苏通长江大跨越线路项目中，开发了特大

型大跨越高塔组立进度仿真系统，将施工计划进度录入系统中，直观展现施工计划进度，实现进度三维生长效果。如图10所示，将施工实际进度录入系统，通过实际进度和计划进度的对比，三维可视化展示进度差异状况，为施工管理人员提供辅助决策。

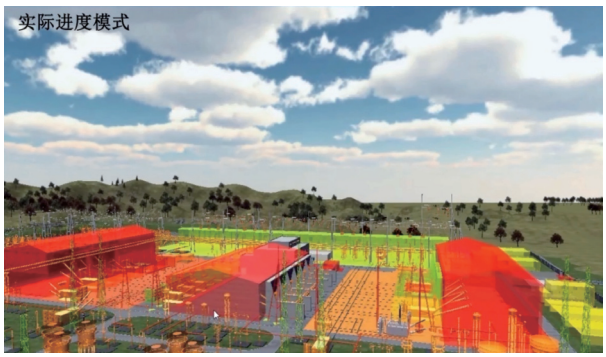

图10　进度仿真示意

4　结束语

虚拟现实施工技术是一项比较前沿的学科，尚未形成完整的体系。国外对其研究主要表现在两个方面：一是虚拟现实施工技术用于实际中的理论研究，为相关课题的深入研究奠基了理论基础；二是对施工领域的三维建模、计算机软件设计和计算仿真等工作的研究，构成了虚拟现实施工的技术支撑。

从技术的革新来看，虚拟现实技术在输电线路上的应用，为输电线路的定位选线、铁塔组装和架线等一系列施工过程带来了全新的变革，对行业将产生巨大的影响。为此，需要不断地开展相关研究，建立输电线路施工虚拟现实智能化平台，促进输电线路行业的健康、长远和稳定的可持续发展，开创一个信息化、数字化施工的新时代。

参考文献

[1] 盛金马，葛奎，许邦鑫．三维虚拟现实技术在输电线路运检中的应用[J]．低碳世界，2015，5(33)：46-47．

[2] Wu L X．Topological relations embodied in a generalized tri-prism (GTP) model for a 3D geoscience modeling system [J]．Computers and Geosciences，2004，30 (4)：405-418．

[3] 杨珀，胡育蓉，罗沙．变电站三维虚拟现实系统的研究及应用 [J]．科技创新导报，2015，12 (13)：42．

[4] 陈海波，郑健，费瑞轶，等．虚拟现实技术在电力系统中的典型应用 [J]．电网与清洁能源，2016，32 (2)：25-30．

[5] Keith Ansell-Pearson．The reality of the virtual：bergson and deleuze [J]．MLN，2005，120 (5)：1112-1127．

[6] 汪如松，李健，刘文勋，等．三维数字化设计在输电线路工程中的应用研究 [J]．陕西电力，2015，43 (8)：31-35．

[7] 李铁鼎，刘文勋，林芳，等．输电线路工程数字化设计全过程应用及展望 [J]．智能电网，2016，4 (3)：103-107．

[8] 孟晶晶，肖寅．虚拟现实技术在施工组织与管理中的应用 [J]．市场研究，2012，63 (8)：68-69．

[9] 杨振军．三维输电线路地理信息系统的研究与开发 [D]．西安：西安科技大学，2009．

[10] 毕硕本，张国建，侯荣涛，等．三维建模技术及实现方法对比研究 [J]．武汉理工大学学报，2010，38 (16)：32-36，89．

（收稿日期：2016－09－25）EA

欢迎订阅　欢迎投稿　欢迎刊登广告