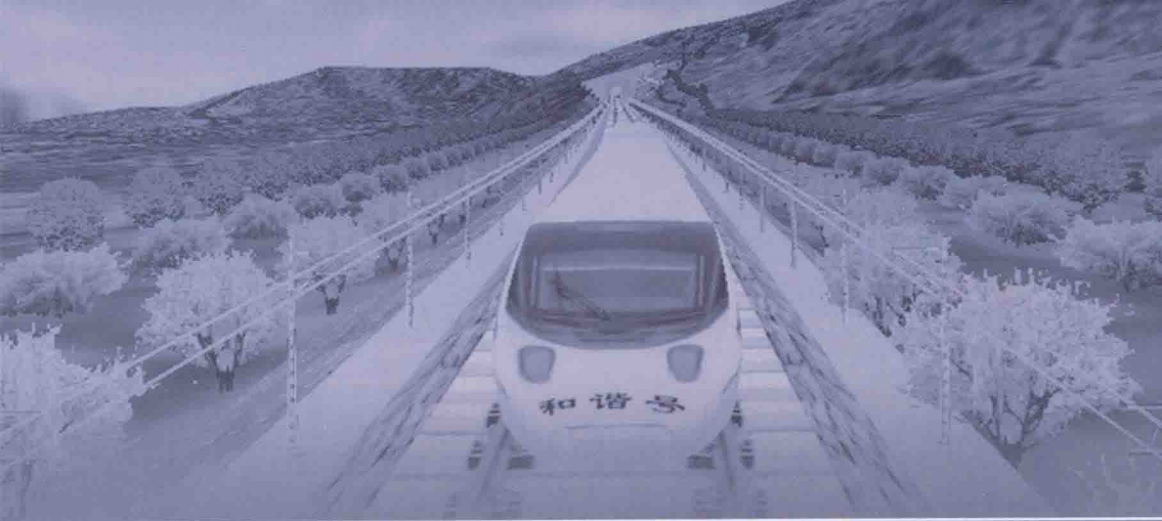




线路三维可视化设计理论、 方法与应用

吕希奎 著



科学出版社

线路三维可视化设计理论、 方法与应用

吕希奎 著

国家自然科学基金资助(51278316)

河北省自然科学基金资助(E2014210111)

河北省教育厅重点项目资助(ZD20131026)

科学出版社

北 京

内 容 简 介

在三维可视化环境中进行线路方案设计与决策,实现线路的三维可视化设计,使设计过程更加形象直观,对提高线路设计效率 and 设计质量、直观地查看设计效果具有重要的现实意义和应用价值,已成为线路工程设计信息化发展的主要趋势之一。本书以铁路和城市轨道交通目前最主要的两类线路工程为研究对象,全面论述线路三维可视化设计理论、方法与应用。全书分为两篇共 15 章。内容涵盖了三维地形数据采集、海量三维地形建模、线路三维可视化设计理论和方法、高速列车运动仿真、线路三维景观建模、三维地质环境建模与线路设计应用、三维城市景观建模、数字管线三维建模、城市轨道交通线路三维地质建模理论与方法、城市轨道交通线路三维建模与设计、线路三维漫游等内容。基于研究成果,开发了铁路和轨道交通三维可视化设计系统,并给出了应用及实例,以软件系统进一步展示研究内容和成果。

本书可供铁道工程和轨道交通工程领域的科研人员、工程技术人员及管理人员阅读参考,也可作为铁道工程和轨道交通工程专业的研究生教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

线路三维可视化设计理论、方法与应用/吕希奎著. —北京:科学出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-03-044796-8

I. ①线… II. ①吕… III. ①城市铁路-轨道交通-铁路线路-设计 IV. ①U239. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 124321 号

责任编辑:孙伯元/责任校对:张怡君

责任印制:张 倩/封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 9 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 9 月第一次印刷 印张:26 1/2

字数:514 000

定价:150.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

我国铁路和城市轨道交通的快速发展和建设,使线路设计面临着越来越繁重的工作。随着各种高新技术如数字地球、虚拟现实、科学计算可视化等的不断涌现,各种学科之间相互交叉和渗透、彼此影响和促进,线路勘察设计对数据可视化、仿真模拟、空间分析等方面的需求与日俱增,传统的二维设计方式越来越难以满足这种要求。三维可视化技术以立体技术展示空间信息,不仅能够表达空间对象间的关系,而且能对空间对象进行三维空间分析和操作。三维可视化设计作为线路设计领域的新技术,将设计过程迁移到三维平台上,在三维可视化环境中进行线路方案设计与决策,实时建立工程的三维模型,达到所见即所得的设计效果;使决策者、设计师对线路设计成果有直观的三维立体印象,从而对线路的几何线形、平、纵、横的整体协调以及景观协调等作出更科学的评判;对提高线路设计效率和设计质量、直观地查看设计效果具有重要的现实意义和应用价值,已成为线路设计信息化发展的趋势。

本书以铁路和城市轨道交通两大线路工程为研究对象,根据它们的特点,全面论述了线路三维可视化设计理论、方法与应用。全书分为两篇共 15 章。第 1 篇是铁路三维可视化设计理论、方法与系统应用,共 8 章。内容涵盖线路三维可视化设计概述、海量三维地理信息获取方法、三维地形环境建模、线路三维设计关键技术、线路三维景观建模、三维地质环境建模与线路设计应用、高速列车运动仿真三维建模和三维线路设计实现与系统等内容。第 2 篇是城市轨道交通线路三维可视化设计理论、方法与系统应用,共 7 章。内容涵盖三维城市景观建模、数字管线三维建模、城轨线路三维地质建模理论与方法、城市轨道交通线路平面和纵断面子系统设计、城市轨道交通线路三维建模和城市轨道交通三维设计系统等内容。在注重理论、方法研究的同时,每一篇最后都给出了系统及应用实例。

本书在撰写过程中得到了西南交通大学易思蓉教授、北京交通大学魏庆朝教授的热情指导与帮助。感谢何彬、李鸣、李亚丹、李永发、孙培培等研究生在系统的实现与优化、本书的排版与校对等工作中付出的辛勤劳动。特别是城市轨道交通部分,何彬、李鸣两位研究生做了大量工作。感谢科学出版社的工作人员,他们给本书的整个出版过程提供了可行性的建议,并和我们一起经历了本书的整个设计和制作过程。在本书的编写过程中,参阅了国内外大量优秀教材和学术论著。在此,谨向书中提到的和参考文献列出的诸位学者表示衷心的感谢!

我国的铁路和城市轨道交通还在快速发展和建设中,日新月异发展的信息技

术、计算机技术、BIM 技术在线路设计中的应用,必将使线路三维设计的新理论、新方法和新技术不断向前发展。

由于作者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正!

作 者

2015 年 5 月

目 录

前言

第 1 篇 铁路线路三维可视化设计理论、方法与系统应用

第 1 章 线路三维可视化设计概述	3
1.1 三维可视化工程设计	3
1.2 我国铁路三维设计的发展需求	3
1.3 国内外研究现状	4
1.3.1 国外研究现状	4
1.3.2 国内研究现状	6
1.4 线路三维可视化设计系统开发主要技术方法	7
1.4.1 基于 OpenGL 的开发方法	7
1.4.2 基于 OSG 开发方法	11
1.4.3 基于 Google Earth 的开发方法	15
第 2 章 海量三维地理信息获取方法	34
2.1 铁路三维设计的影像主要类型	34
2.1.1 航空遥感影像	34
2.1.2 卫星遥感影像	36
2.2 建模信息获取	38
2.2.1 数据获取方法	38
2.2.2 数字地形模型获取	38
2.2.3 正射影像图获取	40
2.3 数字化地质信息获取与建模	44
2.3.1 矢量化遥感地质信息获取	44
2.3.2 栅格遥感解译影像的获取	45
2.3.3 数字化非遥感地质信息获取	46
2.3.4 数字地质对象建模方法	47
第 3 章 三维地形环境建模	51
3.1 离散点数据集 Delaunay 三角剖分算法	51
3.1.1 数字地形模型	51
3.1.2 Delaunay 三角剖分	53

3.1.3 格网划分的分割-合并算法	54
3.1.4 关键问题	54
3.2 三维地形环境建模优化	57
3.2.1 地形数据组织与调度	58
3.2.2 多分辨率纹理模型构造与实现	61
3.2.3 关键技术	65
3.3 三维立体显示技术	69
3.3.1 立体视觉原理	69
3.3.2 立体显示的主要方式	70
3.3.3 OpenGL 立体显示技术	71
3.3.4 OSG 立体显示技术	72
3.4 三维路径漫游功能的开发	74
3.4.1 路径漫游功能简介	74
3.4.2 漫游路径设置方法	74
3.4.3 曲线生成插值算法	75
3.4.4 漫游实现	81
3.4.5 漫游相关计算	83
3.5 三维地形的投影模式	85
3.5.1 正射投影模式	85
3.5.2 透视投影模式	85
第4章 线路三维设计关键技术	87
4.1 三维线路模型建模方法	87
4.1.1 设计线的三维自动化建模	87
4.1.2 三维线路曲面模型	89
4.2 隧道三维建模方法	94
4.2.1 隧道横断面形式的确定	94
4.2.2 圆弧拱断面形式计算	95
4.2.3 圆形断面形式计算	100
4.2.4 隧道曲线处平滑处理	102
4.2.5 隧道参数设置实现	103
4.3 桥梁三维建模方法	104
4.3.1 桥梁三维建模	104
4.3.2 桥梁参数设置实现	105
4.3.3 桥梁绘制实现	106
4.4 线路整体三维建模	106

4.4.1 建立 CDT 相关理论	107
4.4.2 线路封闭区域确定与分割算法	108
4.4.3 基于 CDT 理论的整体模型构建法	110
4.4.4 基于 OpenGL 实现真实感图形绘制	112
4.5 三维地面坐标的获取	115
4.5.1 正射投影模式下的获取	116
4.5.2 透视投影模式下的获取	117
4.6 三维线路数据结构设计	119
4.6.1 路基数据结构	120
4.6.2 桥梁数据结构	121
4.6.3 隧道数据结构	122
4.6.4 边沟数据结构	123
4.6.5 线路数据结构	123
4.6.6 边坡模型生成算法	126
4.6.7 路基三维模型组成	129
第 5 章 线路三维景观建模	130
5.1 铁路线路构造物三维模型建模理论和方法	130
5.1.1 面向对象的图形辅助仿真建模	130
5.1.2 铁路构造物分类	132
5.1.3 建模方法和建模工具的选择	133
5.2 铁路构造物三维模型库	133
5.2.1 模型库的概念	133
5.2.2 模型库的体系结构	134
5.2.3 模型库的功能设计	135
5.2.4 模型数据库管理的实现	135
5.3 模型在三维环境中的应用	136
5.3.1 三维模型与三维场景的匹配	136
5.3.2 三维模型匹配方法	137
5.3.3 模型匹配三维场景的实现	138
5.4 铁路线路附属设施三维建模	140
5.4.1 接触网模型库模块	140
5.4.2 接触网模型参数设置	141
5.4.3 接触网模型实现	141
5.5 铁路线路树木三维景观建模	144
5.5.1 树木三维可视化技术	144

5.5.2 树木三维建模实现	145
5.5.3 三维树木景观参数设置	146
5.5.4 三维树木景观建模实现	146
第6章 三维地质环境建模与线路设计应用	151
6.1 三维地质环境建模	151
6.1.1 研究现状	151
6.1.2 建模基本思路	151
6.1.3 矢量化建模方法	152
6.1.4 栅格化建模方法	156
6.1.5 三维空间地质对象冲突检测	159
6.2 基于LM神经网络的工程地质综合评价模型	160
6.2.1 BP神经网络概述	160
6.2.2 改进BP算法-LM算法	161
6.2.3 LM神经网络模型建立	163
6.3 基于超地图模型的地质环境识别技术	170
6.3.1 超地图概念	170
6.3.2 三维选线环境超地图模型	171
6.3.3 基于超地图模型的地质环境识别	173
6.3.4 基于超地图模型选线应用	175
第7章 高速列车运动仿真三维建模	177
7.1 国内外研究现状	177
7.1.1 国内研究现状	177
7.1.2 国外研究现状	177
7.1.3 国内外研究分析	178
7.2 基于面向对象方法的系统分析	178
7.2.1 面向对象方法	178
7.2.2 模型的简化及参数确定	179
7.3 机车车辆几何模型的建立及模拟	180
7.3.1 车辆仿真系统的组成	180
7.3.2 机车车辆运动系统的建立	181
7.3.3 轨道几何模型的模拟	182
7.3.4 列车单元模型建模方法	182
7.4 系统动态运动的生成	183
7.4.1 系统运动数据的生成	183
7.4.2 基于线路函数的动画关键帧的生成	184

7.4.3 图像帧的数据结构定义及实现	186
7.5 系统集成框架设计与实现	187
7.5.1 系统集成框架	187
7.5.2 机车车辆动态运行场景的参数设置	188
7.6 机车车辆动态运行 3D 声音的实现	188
7.6.1 DirectSound 的 3D 模拟空间	189
7.6.2 三维环境中 3D 音效产生原理	190
7.6.3 基于 DirectSound 声音实时仿真实现	191
7.7 列车动态运行场景的仿真模拟	194
第 8 章 三维线路设计实现与系统	196
8.1 系统概述	196
8.1.1 主要特点	196
8.1.2 系统结构	196
8.2 项目管理	198
8.2.1 连接数据库	198
8.2.2 技术标准设置	198
8.2.3 新建项目	198
8.2.4 打开项目	199
8.3 方案管理	200
8.3.1 新建方案	200
8.3.2 打开方案	200
8.3.3 保存方案	201
8.3.4 平面方案的自动生成	205
8.4 环境建模	206
8.4.1 打开影像环境	206
8.4.2 纹理导入	206
8.4.3 遥感地质数据	206
8.4.4 超地图模型	207
8.4.5 路基纹理设置	207
8.4.6 树木纹理设置	208
8.4.7 接触网参数设置	208
8.4.8 桥梁模型设置	209
8.4.9 动车组模型设置	209
8.5 绘图模式	210
8.5.1 线框模式	210

8.5.2 纹理模式	210
8.5.3 色彩模式	210
8.6 选线设计	211
8.6.1 输入与导入交点	211
8.6.2 三维线路建模	211
8.6.3 路基参数设置	212
8.6.4 纵断面设计	212
8.7 三维漫游	213
8.7.1 自动漫游	214
8.7.2 交互漫游	214
8.7.3 高空漫游	214
8.7.4 录制 AVI 动画	215
8.8 数据报表	215
8.9 模型库管理	216
8.9.1 动车组模型库	216
8.9.2 线路构造物模型库	216
8.9.3 接触网模型库	218

第2篇 城市轨道交通线路三维可视化设计理论、方法与系统应用

第9章 三维城市景观建模	221
9.1 城市三维景观快速建立方法	221
9.1.1 Google 街景的三维城市景观	221
9.1.2 Virtual Earth 3D	222
9.2 场景数据获取方法	223
9.2.1 建筑基础型数据获取方法	223
9.2.2 城市道路基础数据获取方法	224
9.3 城市建模数据处理	226
9.3.1 城市景观数据获取	226
9.3.2 初始场景数据处理	228
9.3.3 基于桥梁坐标的道路数据分类方法	230
9.3.4 引桥坐标算法	231
9.3.5 匝道坐标算法	233
9.3.6 场景数据输出	234
9.3.7 建筑物模型纹理处理	235
9.3.8 建筑物三维模型库	241

9.4 城市三维景观建模	242
9.4.1 CityEngine 建模常用函数	242
9.4.2 总体建模流程	243
9.4.3 建筑物建模流程	244
9.4.4 道路建模流程	244
9.4.5 建筑物建模	246
9.4.6 道路建模	247
9.4.7 高架桥建模	256
9.4.8 立交桥建模	257
9.5 三维城市景观建模实现	259
第 10 章 数字管线三维建模	261
10.1 三维管线建模的一般方法	261
10.1.1 基于三维图形库底层建模	261
10.1.2 完全使用建模软件建模	262
10.1.3 基于三维地理信息软件二次开发建模	262
10.2 管线数据库设计	263
10.2.1 地下管线数据模型	263
10.2.2 管线数据表结构	264
10.2.3 管点数据表结构	266
10.3 城市地下管线三维建模	267
10.3.1 功能设计思路	267
10.3.2 Skyline 绘制管线方法	268
10.3.3 管点实体模型库	270
10.3.4 三维管点的生成	272
10.3.5 三维管线生成	274
第 11 章 城轨线路三维地质建模理论与方法	277
11.1 城市轨道交通三维地质建模数据模型	277
11.1.1 三维地质建模数据来源与特点	277
11.1.2 工程地质三维数据模型	277
11.1.3 数据模型分析	280
11.1.4 广义三棱柱数据模型	280
11.2 建模数据预处理与数据结构	282
11.2.1 数据预处理	282
11.2.2 数据结构	284
11.3 三维地质体建模	286

11.3.1	基于GTP体元的三维地体建模	286
11.3.2	断层三维建模	287
11.3.3	基于虚拟钻孔的误差修正	289
11.4	基于工程地质三维模型的分析及可视化技术	291
11.4.1	钻孔、钻孔间的剖面查询	291
11.4.2	虚拟钻探取芯	292
11.4.3	工程地质剖面的生成	293
11.4.4	三维模型的可视化表达	293
11.4.5	三维地质模型的基坑开挖	294
第12章	城市轨道交通线路平面子系统设计	297
12.1	数据结构设计	297
12.1.1	平面设计标准数据结构	297
12.1.2	交点类数据结构	298
12.1.3	曲线要素类数据结构	299
12.1.4	曲线里程类数据结构	300
12.1.5	曲线桩点坐标类数据结构	301
12.1.6	断链类数据结构	302
12.1.7	车站中心数据结构	302
12.1.8	曲线点和整里程点数据结构	303
12.1.9	项目信息等数据结构	304
12.2	右线坐标及参数计算	306
12.2.1	右线交点坐标获取	306
12.2.2	线路参数计算	307
12.2.3	曲线要素计算	307
12.2.4	曲线段坐标计算	315
12.2.5	右线五大桩里程及坐标计算	317
12.2.6	右线里程及里程标坐标计算	318
12.2.7	车站中心里程计算	318
12.3	左线坐标及参数计算	319
12.3.1	左线交点坐标计算	319
12.3.2	左线曲线里程计算	320
12.4	断链生成与处理	320
12.4.1	左右线平行直线段判断	320
12.4.2	断链位置确定及信息计算	321
12.5	平面线路方案展示	322
12.5.1	线路绘制	322

12.5.2 线路元素标注	324
12.6 平面线路动态调整	327
12.6.1 删除交点	327
12.6.2 修改交点	327
12.6.3 拖动交点	328
12.6.4 插入交点	329
第13章 城市轨道交通线路纵断面子系统设计	330
13.1 数据结构设计	330
13.1.1 纵断面设计标准数据结构	330
13.1.2 基础数据结构	331
13.1.3 设计数据的数据结构	333
13.2 数据获取	334
13.2.1 地面线数据	335
13.2.2 断链数据	337
13.2.3 平曲线数据	338
13.2.4 车站数据	338
13.2.5 地质信息数据	339
13.2.6 高程控制点数据	339
13.3 辅助信息绘制	340
13.3.1 坐标轴绘制	340
13.3.2 背景网格绘制	341
13.3.3 设计信息栏目绘制	341
13.4 纵断面线路设计	342
13.4.1 设计线绘制	342
13.4.2 设计线坡段数据存储与显示	343
13.4.3 竖曲线插入与显示	343
13.4.4 设计线高程计算与显示	347
13.4.5 车站中心高程确定	348
13.4.6 导出三维坐标	349
13.5 纵断面设计方案调整	349
13.5.1 鼠标获取变坡点	349
13.5.2 编辑变坡点	349
13.5.3 编辑坡线	351
13.6 坡线设计规范检查	351
13.6.1 最大坡度检查	351
13.6.2 最小坡度检查	352

13.6.3 最小坡段长检查	352
13.6.4 竖曲线检验	353
第14章 城市轨道交通线路三维建模	354
14.1 线路三维横断面坐标计算	354
14.1.1 完全并行等高段横断面坐标计算	355
14.1.2 非完全并行段右线横断面坐标计算	359
14.1.3 非完全并行段左线横断面坐标计算	363
14.2 线路三维模型生成	366
14.2.1 线路三维线框生成	366
14.2.2 隧道三维建模	366
14.2.3 桥梁三维建模	367
14.3 线路三维漫游	368
14.3.1 漫游路径获取	368
14.3.2 Skyline 三维漫游方法	370
14.3.3 镜头位置逐帧调整	372
14.3.4 漫游路径点跳转识别方法	373
14.4 城轨线路三维动态调整方法	376
第15章 城市轨道交通三维设计系统	378
15.1 开发平台简介	378
15.1.1 Skyline 平台简介	378
15.1.2 Skyline 二次开发接口	378
15.1.3 Ersi CityEngine 建模软件	380
15.2 系统简介	381
15.2.1 系统功能简介	381
15.2.2 运行环境	382
15.3 系统主要功能	382
15.3.1 海量城市三维场景构建	382
15.3.2 三维管线建模	385
15.3.3 线路平面设计	387
15.3.4 线路纵断面设计	393
15.3.5 线路三维模型构建	396
15.3.6 线路三维漫游展示	398
参考文献	400

第 1 篇 铁路线路三维可视化设计理论、方法与系统应用

将遥感技术、数字摄影测量技术、虚拟现实技术、数字地质技术相集成,建立一个能够同时满足地质选线要求和环境选线要求的三维可视化选线地理环境,基于这样的三维可视化环境进行选线设计,将大大开拓勘测设计一体化的视野,并为勘测设计一体化提供一个全新的服务。

本篇综合运用计算机图形学、VR 技术、数字摄影测量、数据库以及软件工程等信息技术,对铁路线路三维可视化设计理论、方法和关键技术进行研究。采用 Visual C++、.NET、OpenGL 图形库和 Oracle 数据库,开发了铁路三维线路设计系统。系统以遥感正射影像图、数字高程模型、遥感工程地质数据为数据源,利用虚拟现实技术和三维可视化技术,建立三维地理环境,重建三维地理场景,实现在该环境下进行线路三维设计。本篇共包括线路三维可视化设计概述、海量三维地理信息获取方法、三维地形环境建模、线路三维设计关键技术、线路三维景观建模、三维地质环境建模与线路设计应用、高速列车运动仿真三维建模和三维线路设计实现与系统等 8 章内容。

