



国家自然科学基金项目 (51278316) 资助  
京津冀基础研究合作专项项目 (E2016210133) 资助

# 铁路三维地质选线 理论与方法

TIELU SANWEI DIZHI XUANXIAN LILUN YU FANGFA

朱颖 吕希奎 许佑顶 谢毅 © 著

中国铁道出版社有限公司  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE CO., LTD.

铁路科技图书出版基金资助出版

国家自然科学基金项目(51278316)资助

京津冀基础研究合作专项项目(E2016210133)资助

# 铁路三维地质选线理论与方法

朱 颖 吕希奎 许佑顶 谢 毅 著

中国铁道出版社有限公司

2019年·北京

## 内 容 简 介

随着虚拟现实技术和空间信息技术的发展和应用,铁路数字化选线技术也日趋成熟。而铁路数字化选线技术达到实用的关键问题之一,是复杂地质区域的数字选线技术。本书面向复杂艰险山区的三维地质选线技术,围绕铁路工程三维设计领域的三维地质实体建模与选线关键技术及应用中的热点问题,系统的阐述了三维地质实体建模与铁路空间立体选线理论与方法,内容涵盖三维地理环境建模方法、地质多源空间信息集成技术、三维地质环境建模方法、基于遥感信息的工程地质虚拟环境建模方法和利用技术、选线地质知识库构建关键技术、三维地质实体建模方法、基于地质三维建模的空间立体选线方法与选线决策模型、空间立体地质选线平台及应用案例。

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,也可用作高等院校线路工程专业选线课程拓展教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

铁路三维地质选线理论与方法/朱颖等著. —北京:中国铁道出版社有限公司,2019.3

ISBN 978-7-113-25622-7

I. ①铁… II. ①朱… III. ①铁路选线 IV. ①U212.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 044390 号

书 名:铁路三维地质选线理论与方法  
作 者:朱 颖 吕希奎 许佑顶 谢 毅

策 划:傅希刚  
责任编辑:江新锡 曹艳芳 编辑部电话:010-51873162  
封面设计:高博越  
责任校对:胡明锋  
责任印制:高春晓

出版发行:中国铁道出版社有限公司(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

版 次:2019年3月第1版 2019年3月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:16.25 字数:284千

书 号:ISBN 978-7-113-25622-7

定 价:75.00元

### 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本公司读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

# 前 言

铁路选线设计是在三维空间决定线路位置的决策优化过程，特别是山区，河谷深切、构造复杂，不良地质普遍发育，岩溶、顺层、滑坡、断层破碎带和崩塌等主要不良地质现象分布广泛，比选线路方案时对地质因素考虑得最多，更加注重“地质选线”，地质因素往往成为线路方案取舍的决定因素。合理的线位不仅能降低铁路施工中的风险，更能有效的减少后期线路维护成本，提高运营安全。

随着计算机辅助设计技术特别是计算机三维图形处理技术的发展，铁路工程三维设计理念已得到铁路行业的普遍认同，而且成为近年来的热点研究与应用领域。一方面，在铁路选线设计研究领域，目前国内及国外已经基本完成了三维数字地形构建及线路三维可视化的研究工作，取得了很多有价值的成果，但普遍缺少对地质信息的集成应用和有效表达，对于山区的铁路侧重于地质选线而言并不能满足这种要求；另一方面，大面积、大比例的高精度遥感技术，已经为选线设计和线路方案工程地质条件评价提供了可靠的基础地质资料，如何根据这些可靠的基础地质资料与线路三维可视化技术统一集成，建立选线设计的真三维地质实体模型，并实现这一模型下的空间立体选线以满足山区地质选线要求显得尤为迫切，更直观的分析和应用地质信息为选线服务已成为实现铁路地质选线急需解决的问题。

本书面向复杂艰险山区的三维地质选线技术，系统介绍了铁路三维地质选线理论和方法，主要内容包括：

### (1) 多源地质信息集成技术

针对地质信息多源性特点,从空间特征表现和属性表征两方面,分析地质灾害多源数据的差异性,建立地质空间数据标准化方法,实现地质信息多源数据的一体化构建与集成。采用 Oracle Spatial 的空间数据库技术,建立基于 GIS 的地质多源信息空间数据管理系统。

### (2) 三维地质环境可视化建模方法

针对复杂地质区域的数字选线技术的关键问题,采用插值  $n$  次 Bézier 曲线和三次参数样条曲线,实现不同类型地质对象在三维环境中的矢量化表达和定位;采用 CDT 方法建立地质对象约束 TIN 模型,基于纹理定位和影像纹理坐标计算方法,实现栅格解译影像的定位和表达,建立铁路数字化三维选线的矢量数据和栅格数据一体化的三维地质环境建模方法。在三维环境里,集成地质对象矢量和栅格数据、地质专题信息、遥感正射影像图、三维地形数据,建立更为直观的地质表达和识别模式,构建的三维地质环境较好的满足复杂地质区域的数字三维选线设计要求。

### (3) 三维地质实体建模方法

以铁路长大带状区域地质建模数据的获取为基础,基于网络地理影像资源获取长大带状选线区域的正射影像,实现铁路三维地质环境地表 DTM、DOM 的自动获取。基于地质勘察资料,提取数字化的地质体建模数据;通过分析铁路三维地质建模采用的数据模型,定义所采用的广义三棱柱数据模型的数据结构。采用遗传算法—克里金的地质数据插值算法,实现地质数据的插值处理。基于 GTP 体元模型,实现三维地质体建模,建立满足铁路选线设计要求的三维带状地质体模型。

### (4) 三维地质模型可视化及分析技术

基于 OSG 高阶渲染引擎,构建三维地质模型的场景树结构。基于“射线求交”场景对象拾取技术、虚拟钻探取芯算法、剖面自

动相连算法和地质数据库,实现钻孔和工程地质剖面的可视化生成及查询、地质实体模型的多角度观察和多种可视化表达和地质体的空间计算与分析。这些操作为多角度、全方位的认识和理解地质实体模型提供了强有力的支持。研究建立地质对象提取技术,实现地质实体的体积、表面积,地层土方量的计算。基于 GTP 地质体剖切算法,实现三维地质模型的基坑开挖仿真以及地下隧道生成与三维虚拟漫游。

#### (5) 基于遥感信息的工程地质虚拟环境建模方法和利用技术

集成三维地形模型、多源影像融地质遥感影像和工程地质属性库,构建工程地质超图模型。建立基于地质对象遥感解译影像和超图模型的铁路工程地质虚拟环境建模方法,实现在铁路数字化选线系统中的不良地质区域信息自动映射、显示和选线要点提示。在此基础上,实现对地质信息的空间查询、获取与分析,并以一种动态的交互式的三维影像形式表现出来,实现对地质条件更直观的分析,为三维地理环境中的地质选线提供了数据基础。

#### (6) 选线地质知识库构建关键技术

针对选线地质知识的特点,建立选线知识库和知识可视化表达模型,实现三维地质选线应用。实现基于 GIS 三维空间信息的知识获取方法,通过对碰撞检测算法的研究,解决线路与地质对象的空间关系的判断问题,开发选线地质知识库管理系统。

#### (7) 基于地质三维建模的空间立体选线方法

基于矢栅一体化地质环境中,通过对超地图模型的利用,获取地质对象信息,建立基于超地图模型的地质选线技术。通过对地质实体与线路实体的空间冲突关系计算,实现基于地质实体对象建模的选线应用和局部地段线路构造物方案的比选。基于改进的遗传算法,建立了基于三维地质实体的空间选线决策模型。

#### (8) 空间立体地质选线系统建立

基于三维地质实体建模理论与方法,采用 C++、NET、OSG、

Oracle 数据库和计算机图形，建立了空间立体地质选线设计系统，实现了三维可视化地质选线设计和决策。

基于国家自然科学基金项目“基于真三维地质实体大比例建模的空间立体选线方法研究(51278316)”、中铁二院“基于虚拟环境与列车运动仿真高速铁路线路设计方法研究”、中国铁路工程总公司重大课题“高速铁路虚拟环境与动力学选线设计平台研究(2014-重大-11)”等科研项目，中铁二院工程集团有限责任公司朱颖提出本书体系结构，并牵头组织撰写。全书由朱颖、石家庄铁道大学吕希奎和中铁二院工程集团有限责任公司许佑顶、谢毅共同创作完成。其中第1章、第2章、第3章和第4章由朱颖完成，第5章、第6章由吕希奎完成，第7章由许佑顶完成，第8章由谢毅完成，全书由朱颖统稿，中国地质大学(武汉)陈建平教授主审。本书在编写过程中得到了中铁二院工程集团有限责任公司胡新明、魏永幸、赖见国，石家庄铁道大学聂良涛、陈进杰、王明生等同志的大力支持，感谢他们为完成本书在素材提供、案例准备等方面提供的帮助。

本书在编写过程中，引用了相关的参考文献，在此向原作者单位和个人表示衷心的感谢。日新月异发展的信息技术、计算机技术、三维建模技术、地质勘察技术在选线设计中的应用，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。由于作者学识和水平有限，书中错漏和不足之处在所难免，敬请读者批评指正！

作者

2019年1月

# 目 录

1 引 言 .....	1
1.1 铁路数字化地质选线技术背景 .....	1
1.2 数字化选线技术发展概况 .....	2
1.3 三维地质体建模技术发展概况 .....	3
1.4 铁路勘测设计技术的发展趋势 .....	4
2 多源地质信息集成技术 .....	7
2.1 地质多源数据差异性分析 .....	7
2.2 地质信息多源数据一体化构建 .....	10
2.3 多源地质体数据的标准化 .....	13
2.4 空间数据存储结构设计 .....	21
2.5 地质多源空间数据集成 .....	24
2.6 基于 GIS 的地质多源信息空间数据管理系统 .....	28
3 三维地质环境可视化建模方法 .....	43
3.1 数字地质信息获取方法 .....	43
3.2 数字地质对象定义与存储 .....	46
3.3 矢量化建模方法 .....	49
3.4 栅格化建模方法 .....	52
3.5 工程地质虚拟环境建模 .....	57
3.6 选线地质超地图模型 .....	60
4 三维地质实体建模理论与方法 .....	64
4.1 长大带状铁路区域地质建模数据的获取 .....	64
4.2 三维地质建模数据模型 .....	92
4.3 遗传—克里金地质数据插值 .....	103

4.4	三维地质体建模 .....	112
5	三维地质模型可视化及分析技术 .....	119
5.1	基于 OSG 的地质模型可视化技术 .....	119
5.2	钻孔可视化及查询 .....	124
5.3	工程地质剖面生成及可视化查询 .....	128
5.4	地质模型三维可视化表达 .....	133
5.5	地质体空间计算与分析 .....	137
6	选线地质知识库构建 .....	143
6.1	知识库设计 .....	143
6.2	地质知识的来源及获取方法 .....	149
6.3	地质知识的表示 .....	154
6.4	选线地质知识的推理 .....	160
6.5	选线地质知识库维护 .....	165
6.6	选线地质知识库系统 .....	167
7	基于地质三维建模的空间立体选线方法 .....	179
7.1	基于超地图模型的地质选线应用技术 .....	179
7.2	方案线实体自动化建模方法 .....	185
7.3	基于地质实体与线路实体空间冲突分析的选线应用技术 .....	196
7.4	基于地质实体的选线优化与决策模型 .....	208
7.5	基于遗传算法的线路优化 .....	217
7.6	复杂地质区域线路方案评价模型 .....	224
8	工程实例应用 .....	232
8.1	工程实例概况 .....	232
8.2	工程实例地质建模 .....	233
8.3	基于地质三维建模的空间立体选线 .....	241
	参考文献 .....	245

# 1

## 引 言

### 1.1 铁路数字化地质选线技术背景

铁路选线设计是在三维空间决定线路位置的决策优化过程,特别是山区,河谷深切、构造复杂,不良地质普遍发育。岩溶、顺层、滑坡、断层破碎带和崩塌等主要不良地质现象分布广泛,比选线路方案时对地质因素考虑得最多,更加注重“地质选线”,地质因素往往成为线路方案取舍的决定因素。合理的线位不仅能降低铁路施工中的风险,更能有效的减少后期线路维护成本,提高运营安全。如何有效表达和应用这些地质信息是决定“地质选线”成败的关键。

经过近 20 年的努力,铁路工程三维设计理念已得到铁路行业的普遍认同,而且成为近年来的热点研究与应用领域。一方面,在铁路选线设计研究领域,目前国内及国外已经基本完成了三维数字地形构建及线路三维可视化的研究工作,取得了很多有价值的成果,但普遍缺少对地质信息的集成应用和有效表达,对于山区的铁路侧重于地质选线而言并不能满足这种要求;另一方面,大面积、大比例的高精度遥感技术,已经为选线设计和线路方案工程地质条件评价提供了可靠的基础地质资料,如何根据这些可靠的基础地质资料与线路三维可视化技术统一集成,建立选线设计的真三维地质实体模型,并实现这一模型下的空间立体选线以满足山区地质选线要求显得尤为迫切。

由于在山区铁路地质选线中,存在研究区域广、地质环境复杂、长大隧道众多、相关资料繁杂、人为因素影响大等问题,往往需耗费大量的人力、物力和时间投入地质勘察和方案比选工作,以寻求最优方案。因此,如何在复杂的山区地质环境中快速寻找最优的线路方案而不遗漏任何有价值的方案;如何更为直观的分析和应用地质信息为选线服务已成为实现铁路地质选线急需解决的问题。与以往基于二维平面成图的 CAD 选线方式相比,三维可视化地质选线技术

具有立体感强、资料利用率高、信息可视化等优点。随着虚拟现实技术和空间信息技术的发展和运用,铁路数字化选线技术也日趋成熟。而铁路数字化选线技术达到实用的关键问题之一,是复杂地质区域的数字选线技术。本书正是在这样的背景下,结合工程实际,系统的阐述了基于三维工程地质实体建模的铁路空间立体选线理论与方法。

## 1.2 数字化选线技术发展概况

随着计算机辅助设计技术特别是计算机三维图形处理技术的发展,数字化选线设计技术在线路勘察设计领域逐步得到推广和应用。通过三维数字地面模型,三维线路整体模型的建立,大大提高了设计方案选择和方案优化的效率和质量。

在铁路行业,美国 Bentley 公司的 RailTrack 系统、澳大利亚的 Quantm 系统也实现了三维设计功能。Bentley RailTrack 软件可以快速进行建模、设计和分析,还可以形成一个三维的模型用于渲染和表现,探讨不同的方案和设计条件,从而高效率地制定项目的最佳方案。Quantm 系统是结合了卫星图像技术、航测技术及计算机优化技术进行路线三维优化的规划系统,可以将空间影像数据、工程、环境等数据集成,对交通基础设施规划方案进行优化,以降低工程的建设及运营费用,缩短路线规划时间,改善对环境的影响等。但 Quantm 系统不是一个商业化的软件系统,它只用所开发的系统对勘测设计部门提供设计咨询服务。用户必须将准备好的设计数据通过互联网提交 Quantm 总部进行线路优化设计,客户端只能进行综合分析而不能进行优化设计。

目前,在铁路选线设计研究领域,国内及国外已经基本完成了线路计算机辅助设计、三维数字地形构建及线路三维可视化的研究工作,已经取得了很多有价值的成果。

中铁一院 2010 年开始研究“基于真实感场景的线路协同设计平台”,利用航摄资料建立真实三维地理场景,通过虚拟现实技术建模,重现工程设计情况和周围三维地形信息,从而真实反映工程设计的各种效果。为铁路勘测设计各专业提供了一个真实感环境的设计平台,实现了地理环境三维建模、三维设计平台与基于 AutCAD 的二维线路设计系统的协同设计、铁路三维动画等功能。

中铁三院以铁道部重点实验室为主体,集铁路勘察设计各专业技术人员,基于 GIS、网络、虚拟现实、数据库等新技术,开展“数字化三维协同设计系统研究与开发”,研究成果解决了基于航测影像信息建立三维地理环境、铁路三维动画等问题,其成果应用于铁路勘察设计和铁路运营工务管理,取得良好的社会

和经济效益。但尚未实现基于真实感环境的三维数字化选线技术。

中铁四院航测处于 2002~2005 年期间,基于航空摄影与遥感获取的 DEM、DOM 以及各种多源数据,利用虚拟现实技术,重建三维地形场景,提供立体选线平台,开发用于铁路线路设计(平面设计、纵断面设计、横断面设计)的矢量图形系统。系统能够提供利于选线的大区域的三维立体实景,并对竣工后的线路进行三维建模、工程量预算、工程量的查询、统计、汇总。但 2005 年后,未对系统进行进一步研究。

西南交通大学于 1999 年在铁路建设领域将先进的虚拟地理环境建模理论和方法用于铁路选线系统的研究,提出了“虚拟环境选线设计系统”的理念,并致力于虚拟环境选线系统的建模技术及其应用研究。2011~2013 年,在中国铁路工程总公司的主持下,由中铁二院和西南交通大学共同完成的“勘察设计一体化、数字化、智能化技术深化研究”项目,研制了“铁路三维数字化选线系统”。但系统在三维地质实体建模与利用技术方面还有待进一步研究。

在地质选线方面,何华武院士以宜万铁路为例,论述了艰险山区地质勘察及选线技术,特别指出在线路通过岩溶地区时线位、标高、隧道的设计样式。韩康对艰险山区地震区铁路选线进行了初步研究,指出了地震动峰值对铁路选线的影响。中铁二院毛邦燕,吴俊猛以沪昆客运专线黄果树至北盘江段为例,通过对线路各方案的环境地质条件、主要工程地质问题的深入调查、分析,建立了地质选线评价的 GRC 模型,确立了地质选线评价指标体系及各指标体系的权重值。胡子平、彭学理以宜万铁路的选线设计为例,对线路走向、复杂地质地段等线路方案的选择进行研究分析,阐述了地质选线的基本原则。中铁四院冯光胜以 ETM、SPOT、Quick Bird 卫星影像为遥感解译数据源,利用遥感技术生成的三维可视化图进行相关的地质要素判读和铁路选线,将三维遥感技术应用在十宜铁路的地质选线。成都理工大学杨武年教授通过遥感图像三维可视化,研究了面向对象的高空间分辨率遥感影像地质灾害体信息提取方法,能有效地提取地质灾害信息。

### 1.3 三维地质体建模技术发展概况

在三维地质体建模方面,目前主要有四种类型的建模方法:(1)基于体的建模方法;(2)基于面的建模方法;(3)混合建模方法;(4)泛权建模方法。而四种类型方法主要是根据钻孔信息实现局部地区的地质体三维建模,考虑的多是比较单一的地层信息,实现的也多是线框模型或表现模型为主。国外 Kessler, Holger Sobisch 使用 GSI3D 软件和技术,在英国的地质调查中实现三维地理空间

知识的综合集成应用。Nieto, Juan I 和 Monteiro, Sildomar T 利用激光和高光谱数据实现三维地质建模; Wellmann, J. Florian 纳入结构数据反演的不确定性原理实现三维地质建模, 能够较好的适应简单和复杂的地质环境。而铁路选线的地质环境不仅仅是目前单一的地层环境, 而是大范围包含多种不良地质信息、地质灾害的三维地质环境。此外, 选线设计需要综合考虑地质体对不同线型工程(路基、隧道、桥梁等)的综合影响, 三维地质体模型与线路空间对象作为一个耦合的统一体, 还必须适合线路空间对象与地质体的分析要求。因此, 目前单纯的地质体建模还不能够满足三维选线设计的地质空间分析需要, 所构建的单一地质环境还无法满足山区三维地质选线的要求。

上述国内三维可视化铁路选线研究主要集中在基于数字地形模型的三维可视化选线 CAD 系统研究, 解决了线路设计可视化的局部问题, 但三维更多是用来对设计成果的三维展示和漫游。因此, 虽然铁路选线三维数字环境的思想早已提出, 但是一直未能真正实现。目前已能够通过遥感技术提取非常丰富的地质信息, 但应用到铁路地质选线中, 信息的表达多以二维影像和文本为主, 信息的利用率和直观程度不高。因此, 单从地质方面上, 所建立的三维环境就缺少三维空间立体地质环境, 还无法适应山区选线复杂性和困难性的特点。

## 1.4 铁路勘测设计技术的发展趋势

铁路数字化选线设计系统是线路工程信息技术的高端理论和技术的应用, 是计算机图形学、虚拟现实技术、建模技术与仿真技术, 特别是多媒体技术和网络通信技术在线路工程信息技术中的综合应用。

### (1) 智能决策技术的应用

专家系统在铁路工程建设管理、勘测设计、工务管理中的应用是智能化的重要标志, 应大力开展铁路工程领域专家系统的研究。比如, 在线路方案选择, 复杂桥梁方案拟定, 隧道洞口, 洞身设计方案确定, 工程地质问题评价咨询, 遥感图像不良地质判识等领域, 专家系统是对设计方案, 设计参数进行决策的有力咨询工具, 它能使设计在某种程度上达到优秀领域专家水平。

智能化 CAD 系统(Intelligent CAD system), 是一种引进人工智能、知识工程, 使计算机智能地辅助解决整个设计过程(决策、优化、分析、绘图)各方面的复杂问题, 达到自动化程度更高的系统。由于设计本身包含着创造性的思索和判断、决策的理解力, 因此 CAD 通向智能化是必然的发展趋势。设计的处理过程涉及的不仅有概念知识, 也有专家知识。智能化、基于知识的 CAD 系统正是考虑概念知识与专家知识的组合, 以期增强 CAD 解决问题的能力。线路信息系

统中的智能功能包括智能规划、智能优化、智能分析以及智能绘图等。

### (2) 嵌入式系统的应用

所谓嵌入式系统是指以应用为中心,以计算机技术为基础,软件硬件可裁剪,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗要求严格的专用计算机系统。线路工程信息技术要解决的就是面向线路工程应用的软件,即嵌入式软件的开发。嵌入式软件是线路工程专门知识的软件表现形式,是嵌入式系统的核心,也是线路工程信息技术的主要研究内容之一。嵌入式软件的具体应用主要表现为各类检测仪器(用于信息的采集)和控制系统(信息的施用)等的研究与开发。目前,嵌入式系统在线路工程中已经开始应用,但无论是功能还是成本都与大面积的广泛使用有相当大的差距。而这一问题必然会随嵌入系统技术的发展得到有效的解决。

### (3) 分布式多媒体通信技术的应用

由于现代铁路勘测设计、建设和管理的基本特征是群体的、协同的、国际化的,因而工程领域对多媒体协同环境,从需求到实现,具有极其大的热情。计算机从支持个体工作(单个系统应用)发展到支持群体协同工作(地域分散的不同专业的系统协作),即群体中的人们利用计算机系统联网工具,协同完成某项共同承担的工作任务。它适应了现代科学和市场经济的需要,适应了现代工程建设需要。

### (4) 多媒体仿真技术的应用

多媒体仿真是在科学计算可视化和可视仿真技术基础上发展起来的。在计算机图形学和工程研究与设计领域中,科学计算可视化被定义为:对科学计算数据进行可视化加工和三维图形显示,并且通过系统的交互方式能够改变其参数,以观察计算结果的全貌及其变化。把传统的计算机仿真技术同科学计算可视化相结合,发展了可视化仿真技术,运用多媒体系统的多维信息综合处理平台,实现了人们对于仿真对象的多种表现信息的更全面的感受仿真。多媒体仿真技术在铁路线路规划、建设管理、勘测设计、工务管理中均有很好的应用前景。

### (5) 工程信息管理技术的应用

工程多媒体数据资源的获取和处理是人们关心的首要问题。一项铁路建设工程,从规划、设计、施工到建成后的使用、维修,存在大量的不同媒体形式的工程数据文档;在铁路规划、勘测设计、建设和运营养护过程中,还必须提供有关铁路沿线的地理信息、水文气象、人文景观、社会经济等信息,需要同基于 GIS 的空间信息管理平台结合,才能有效地实现铁路工程信息管理和应用。支持多媒体数据结构的工程数据库技术近年来取得了实质性的进展,运用面向对象技

术进行多媒体工程数据库设计,是铁路工程系统中建立工程数据库的有效解决方案。

#### (6) BIM 技术的应用

建筑信息模型 (Building Information Modeling, 简称 BIM) 自从 2002 年引入工程建设行业,目前已经在全球范围内得到建筑业的广泛认可,被誉为建筑业变革的革命性力量。2013 年中国铁路 BIM 联盟的成立,将在铁路行业 BIM 标准、接口研究、平台技术、专业应用等方面开展深入研究,探索并致力于形成中国铁路 BIM 技术体系。中国铁路总公司正式启动了铁路工程建设信息化关键技术研究等科研项目的工作,立足于解决我国铁路工程建设阶段信息化应用的关键核心技术,包含了铁路设计、施工、运营维护等关键技术的各个方面,将形成一套工程建设信息化标准体系,建立一个覆盖全国铁路工程建设管理的信息化统一平台。

目前,BIM 在铁路行业无论从标准制定、工具开发还是到设计、施工、运维等各个阶段的应用,还尚未形成系统的体系。从当前发展趋势来看,如果说 CAD 技术是铁路行业第一次技术革命,那么 BIM 技术将会是第二次技术革命,BIM 技术对未来铁路领域的发展将产生深远影响。

## 2

# 多源地质信息集成技术

三维地质实体的建模需要良好的地质数据支撑,而通过不同方式采集的工程地质数据,具有多源、多类、多量、多维等特点,各种地质数据在精度、分辨率、数量和质量等方面也存在较大的差异,需要使用恰当的方法进行处理分析。因此,如何将多类型、多时相、多分辨率的图形、图像、文本等地质异构数据有机地集成起来,形成一体化的信息技术体系,以解决地质数据的存储、处理、传输以及可视化等一系列问题,是三维地质实体的建模研究领域需要解决的一项重要内容。

针对地质信息多源性特点,本章研究多源地质信息的集成技术和集成方法,从空间特征表现和属性表征两方面分析地质灾害多源数据的差异性,建立地质空间数据标准化方法,以实现遥感影像、区域地质、地质灾害、勘察资料的空间信息集成,为三维地质体建模提供完备的地质数据。

## 2.1 地质多源数据差异性分析

由于地质数据获取途径的多样性,铁路选线中所涉及的地质数据在相同的空间区域下,通常在数据表现形式等方面存在一些差异。

### 2.1.1 地质数据空间特征表现差异分析

用于铁路选线设计的工程地质数据是各种调查、勘探、物探和遥感等技术手段获取的成果资料汇总和集成,具有多源、多类、多尺度等特点。各种地质数据在精度、分辨率、数量、质量等方面也存在较大的差异,这些导致了铁路地质多源空间数据的产生。如既有图纸(全线工程地质图、详细工程地质图、详细工程地质纵断面图、工点工程地质图件、钻孔柱状图等)、栅格影像[遥感影像(航

空和卫星影像等)、遥感地质解译影像(正射影像和正射影像图)],也有文本信息(如影像比例尺、地质信息描述等)。从数据分类上可分为空间数据与非空间数据、图形数据、矢量数据、栅格数据、文本数据和属性数据等。

### (1) 多源性

地质数据包括反映研究区地形地貌及气象资料等的基础地理数据;反映地质构造、地层岩性、水文地质等的地质背景数据;以及研究区内各种地质灾害的形态、面积、体积、灾害体演化机理分析等的地质灾害专题数据。地质数据采集方式不同,包括来自采集系统、图表、既有图纸、遥感、GPS等手段;数据存储格式不同,不同的软件采取不同的文件存储格式;另外还包括与地质实体相关的属性信息等。无论是反映哪种内容的数据,数据的表现形式总存在或多或少的差异。地质数据的这种多源异构性主要源于不同的数据获取手段。

### (2) 多时空性

地质数据源既有同一时间不同空间的数据系列,也有同一空间不同时间序列的数据,不同时期建立的数据源受当时技术条件和认知水平的影响,表达的信息量不尽相同。

### (3) 多尺度性

对于铁路线路的地质数据,从尺度角度来描述,则对应着空间尺度。对于图纸而言,用空间尺度通过比例尺来表达,如1:10 000、1:15 000等。对于遥感影像因采用不同的影像源,用影像空间分辨率来表示,如20 m、5 m等。不同比例尺和分辨率代表着不同的数据精度。铁路线路的地质数据大部分数据是基于小比例尺数据,而自然环境背景如交通、地形地貌空间数据的刻画相对细致,比例尺一般较大。这不仅涉及数据质量、精度等问题,还是数据集成必须考虑的方面。

### (4) 坐标系差异

数据空间位置的坐标系主要有两种,一是球面坐标系,空间实体位置由经纬度来描述,球面坐标系又有北京54和西安80两种。二是平面坐标系,空间实体空间位置由相对于指定原点 $x$ 、 $y$ 坐标对表示。不同来源的空间数据有着不同的坐标系,统一的坐标系框架是地质空间数据一体化的前提。

### (5) 数据投影差异

地质数据的空间特征分布在三维球面空间中,而常用的空间数据多是平面数据。由球面数据到二维平面数据,要经过投影转换,不同来源的空间数据有着不同的投影方式。平时经常用到的投影坐标系有高斯-克吕格投影坐标系和兰伯特投影坐标系。由于地质数据涉及的原始资料众多,同一工作区可能采用不同投影方式的地图数据,投影形式和参数差异,相同空间实体的空间几何特征形状、面积、方向及相对位置将有差异。