

DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2020.11003

三维地质建模过程中综合地质剖面构建方法研究

王波¹, 雷传扬^{1,2}, 刘兆鑫¹, 范敏¹, 王兴强³, 叶凡忠³, 张堃¹

(1. 四川省地质调查院稀有稀土战略资源评价与利用四川省重点实验室, 四川 成都 610081;
2. 四川省地矿局四〇五地质队, 四川 都江堰 611830; 3. 四川省地矿局一〇九地质队, 四川 成都 610100)

摘要:综合地质剖面是三维地质建模重要的数据源,在地质构造复杂地区运用综合地质剖面构建三维地质模型的方法应用较为广泛。本文以成都市为例,详细介绍了综合地质剖面构建需要准备的地质资料、剖面的部署原则和构建方法,并解决了剖面构建过程中遇到的同时代、同层位的不同地层之间的连接问题。实践表明,通过综合地质剖面的构建,可以充分发挥地质技术人员在三维地质建模中的主观能动性,准确刻画复杂地质体在三维空间的展布情况,有效实现复杂地质体交互式半自动建模,提高三维地质建模的效率和精准度。

关键词:综合地质剖面;三维地质建模;剖面构建;地质问题处理;成都市

中图分类号: P618.11

文献标识码: A

0 引言

目前,三维建模技术在展示地表三维景观方面相对成熟,但对地下三维地质模型的表达能力还非常有限,一些三维地学模拟系统(3DGMS)可以实现对地下地质结构的表达,但建成的模型与实际的地质结构差异较大^[1-2]。不同学者从不同角度提出了多种三维建模方法^[1-19],如面元模型的构建常用不规则三角网建模法(TIN)、边界表示建模法(B-rep)、线框建模法(Wire Frame)、网格建模法(Grid)、断面建模法(Section)、多层DEM建模法等。面元模型具表达精确、数据量小、易查询等优势,但算法复杂、不能表达非均匀属性;体元模型的构建常用三维栅格建模法(Array)、针体建模法(Needle)、四面体网格建模法(TEN)、规则块建模法(Regular Block)、非规则块建模法(Irregular Block)、实体建模法(Volume)八叉树建模法(Octree)、三菱柱建模法(TP)、似三棱柱建模法、实体几何结构建模法(CSG)等,体元模型能有效地表达数据场的非均匀性,数据结构和算法相对简单,但查询不易。

考虑到不同数据模型都具有一定的优势和局限性,提出了不同模型的集成——混合模型,该模型集成了面元模型和体元模型构建方法的优势。混合模型的构建常用格网—三角网混合建模法(Grid + TIN)、三角网—实体几何结构混合建模法(TIN + CSG)、三角网—八叉树混合建模法(TIN + Octree)、线框—块体混合建模法(Wire Frame + Block)、实体几何结构—八叉树混合建模法(CSG + Octree)、四面体格网—八叉树混合建模法(TEN + Octree)等。主要建模数据包括钻孔、地质图、剖面图、物化探数据等,辅助建模数据包括构造纲要图、实际材料图、DEM、地质文本资料等,模型整饰数据包括遥感影像、数字线划图等^[20-29]。

为了精准支撑城市地下空间资源科学、合理的综合开发利用和优化城市规划布局,成都市正在开展城市地下空间资源地质调查工作,积极推进地下三维地质模型建设。成都市三维地质模型建设分为四个尺度(图1):成都市全域三维地质框架模型,总面积14335 km²,模型控制深度2000 m;城市地下空间资源地质调查区三维地质模型,总面积约6000

收稿日期:2020-08-04; 改回日期:2020-11-10

作者简介:王波(1984—),男,高级工程师,从事城市地质、区域地质的调查与研究工作。E-mail: 408825018@qq.com

通讯作者:雷传扬(1985—),男,博士,从事生态地质、城市地质、区域地质的调查与研究工作。E-mail: lcy850610@126.com

资助项目:成都市规划和自然资源局项目(5101012018002703)

km²,模型控制深度 70 ~ 300 m;地下空间探测区三维地质模型,总面积 1584 km²;典型示范区地上地下一体化三维地质模型,建模总面积约 45 km²,模型控制深度 150 m。全域三维地质框架模型建模面积大,控制深度大,区内地形地貌、地层岩性、地质构造非常复杂,地质工作程度整体偏低,可用于三维建模的钻孔、物探、精准剖面等资料相对匮乏,因此,采用基于地质剖面的复杂地质体交互式半自动建模方法^[20-23]。本论文根据地质图、钻孔、物探剖面等地质资料,结合区域地质背景构建了成都市全域综合地质剖面,准确刻画复杂地质体在三维空间的展布情况,在此基础上再开展模型建设,有效实现了复杂地质体交互式半自动建模,提高了三维地质建模的效率和精准度。

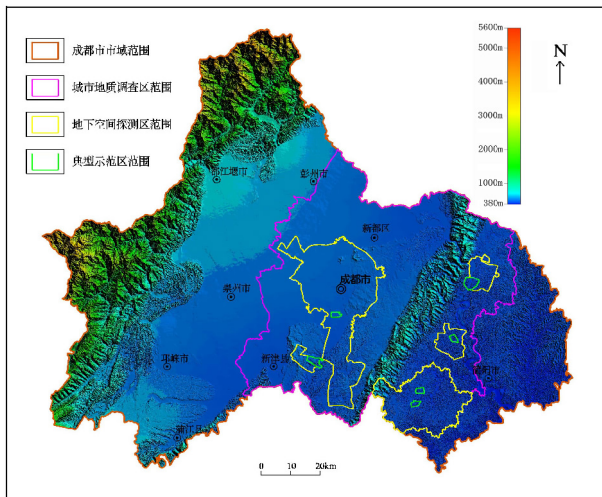


图 1 成都市三维地质建模范围

Fig. 1 Scope of geological 3D modeling in Chengdu

1 地质背景

1.1 地质构造

成都市位于四川盆地西部,构造上属于龙门山前中—新生代前陆盆地,该盆地囊括了成都平原大部,构造单元划分为前龙门山逆冲推覆构造带、川西前陆盆地、龙泉山褶断带和川中前陆盆地。成都平原(川西前陆盆地)西以龙门山为界,东以龙泉山为界,形成了“两山夹一盆”的构造格局(图 2)^[30-36]。

1.1.1 前龙门山逆冲推覆构造带

该带东以安县—灌县断裂带为界,是由北川—映秀断裂(龙门山中央断裂)、安县—灌县断裂(龙门山山前断裂)、飞来峰构造和一系列北东—南西

向断裂、褶皱组成的具多期复合特征的规模巨大的构造带^[30]。

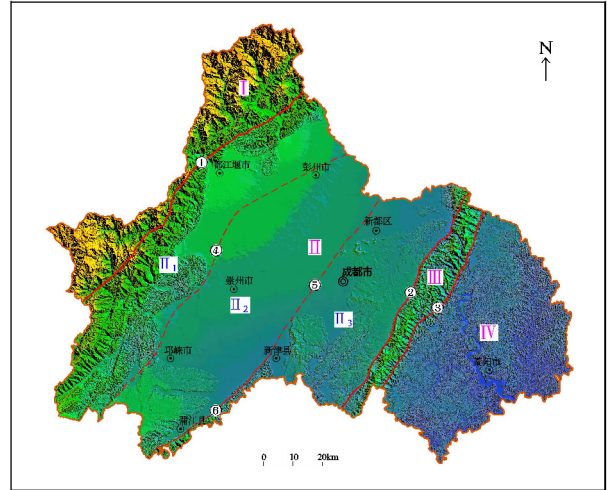


图 2 成都市构造单元划分图(据参考文献[30])

I. 前龙门山逆冲推覆构造带; II. 川西前陆盆地(II₁. 西部边缘构造带、II₂. 中央凹陷带、II₃. 东部边缘构造带); III. 龙泉山褶断带; IV. 川中前陆盆地; ①安县—灌县断裂; ②龙泉山西坡断裂带; ③龙泉山东坡断裂带; ④大邑—彭州隐伏断裂带; ⑤新津—成都—德阳隐伏断裂带; ⑥蒲江—新津断裂

Fig. 2 Division of tectonic units of Chengdu (After reference [30])

1.1.2 川西前陆盆地

川西前陆盆地是侏罗—白垩纪以来陷落并接纳巨厚第四纪沉积形成的断陷盆地,以大邑—彭州隐伏断裂、新津—成都—德阳隐伏断裂和蒲江—新津断裂为界,该盆地可进一步划分为西部边缘构造带、中央凹陷带和东部边缘构造带。西部边缘构造带,北西以龙门山构造带前缘安县—灌县断裂带为界,南东以大邑—彭州隐伏断裂为界,区内发育一系列北东向褶皱、断裂和北西向、近南北向半隐伏断裂,以及次级凹陷和局部隆起。中央凹陷带,位于大邑—彭州隐伏断裂和蒲江—新津断裂及其向北东延伸的新津—成都—德阳隐伏断裂带之间,是成都平原(坳陷)的主体构造,带内主要存在崇州—大邑凹陷、竹瓦铺深凹陷、高山镇隆起、聚源崇义铺隆起,以及北东向和北北西向—近南北向的次级隐伏断裂。东部边缘构造带,北东以蒲江—新津断裂及其北延的新津—成都—德阳隐伏断裂为界,成都市主城区坐落于分界断裂东侧,其东南缘主要发育一系列走向北东,呈雁列式展布的褶皱,自西至东有熊坡背斜、普兴场向斜、苏码头背斜和藉田向

斜等^[34-35]。

1.1.3 龙泉山褶断带

龙泉山褶断带是川西前陆盆地和川中陆内拗陷盆地间的界线,也是川西前陆盆地的前缘隆起带,主要由龙泉山复式背斜及其东、西两侧相对倾斜的龙泉山断裂带组成(龙泉山东坡断裂、龙泉山西坡断裂)。龙泉山复式背斜前翼陡窄,后翼宽缓,形成一个典型的箱状背斜,在箱状背斜的两个转折端发育逆冲断层^[35-36]。

1.1.4 川中前陆盆地

位于龙泉山褶断带以东,由岩浆杂岩及各类片麻岩构成结晶基底,褶皱基底缺失,盖层发育基本完整,主要发育侏罗系—白垩系地层。褶皱多为穹隆、短轴背斜及鼻状构造组成的宽缓构造^[34-35]。

1.2 地层岩性

成都市域范围内地层发育较为完整,从元古界变质岩系至第四系松散堆积均有出露(图3)^[30]。中生代以前的地层岩性较为复杂,碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩及变质岩都有出露,和晋宁期超基性—酸性侵入岩一起出露在安县—灌县断裂以西的前龙门山逆冲推覆构造带内。安县—灌县断裂以东是成都市的主体,主要出露晚三叠世含煤碎屑岩和侏罗纪—新近纪红色碎屑岩,两套地层总厚度超过3000 m,最厚接近10000 m,地层整体稳定,延伸性较好,仅局部少量缺失,或尖灭^[34-36]。

市域内第四系松散堆积物广泛分布,成因类型多样,主要分布在龙泉山以西平原地区,龙泉山以东阶地、河流、河谷地区也有少量分布。根据第四系松散堆积物出露情况将抬升区岷江、沱江、古青衣江水系各级阶地分布的第四系松散堆积物划分为“出露型”,而拗陷区呈“面型”分布的第四系松散堆积物划分为“埋藏型”^[36-42]。

1.2.1 出露型第四系

岷江水系第四系主要分布在龙泉山以西,在地貌上构成三、四、五级阶地,在成都平原内部,零星分布二级阶地,地层由老到新划分为下更新统磨盘山组(Qp^1mp)、下一中更新统牧马山组($Qp^{1-2}m$)、中更新统合江组(Qp^2hj)、上更新统广汉组(Qp^3g)。古青衣江水系第四系主要分布在名邛台地、熊坡背斜以东和彭山—眉山—一线岷江以西地区,地层由老到新划分为下一中更新统蒲江组($Qp^{1-2}pj$)、中更新统丹棱组(Qp^2dl)和东馆组(Qp^2dg)。沱江水系第四系主要沿沱江河谷分布,在地貌上构成五级阶

地,其中四、五级阶地零星分布于河谷两侧的浅丘之上,地层由老到新划分为中更新统白塔山组(Qp^2b)、杨家坡组(Qp^2y)和黄鳊溪组(Qp^2hs),上更新统蓝家坡组(Qp^3l),上更新统一全新统资阳组(Qp^3-Qhz)^[36-38]。

1.2.2 埋藏型第四系

成都平原(凹陷区)除平原区上部全新统、上更新统出露于地表外,其余各时代地层均埋藏于平原腹地,成都平原第四系主要由横切龙门山的横向河流所产生的冲积扇和扇前冲积平原沉积物等半固结—松散堆积物构成,可划分为上新统大邑砾岩(N_2d)和下更新统(Qp^{1al})、下一中更新统(Qp^{1-2al})、中更新统(Qp^{2al})、上更新统(Qp^{3al})、全新统(Qh^{al})等冲积物^[41]。

成都平原包括西部边缘带、中央凹陷带和东部边缘带三个次级构造单元,基底形态控制了堆积物的厚度变化和空间分布^[33]。西部边缘带在都江堰幸福、李家碾和兴隆附近基岩埋深分别为253 m、139 m和89 m。中央凹陷带沉降中心总体偏向西侧,堆积物具有西厚而东薄的特点,西部基岩一般埋深100~300 m,但在郫县竹瓦铺和大邑王场一带埋藏较深,分别为541 m和380 m;东部广汉、成都西—双流一带基岩埋深一般60~100 m;中央凹陷南北两端基底抬升,彭县三界桥至什邡一带基岩埋深为100~150 m;南段邛崃、大兴场、蒲江一带60 m左右。东部边缘带基底埋深迅速变浅,堆积物厚度显著变小,广汉一带在30 m左右,德阳附近为20~40 m,成都西为60 m左右^[36]。

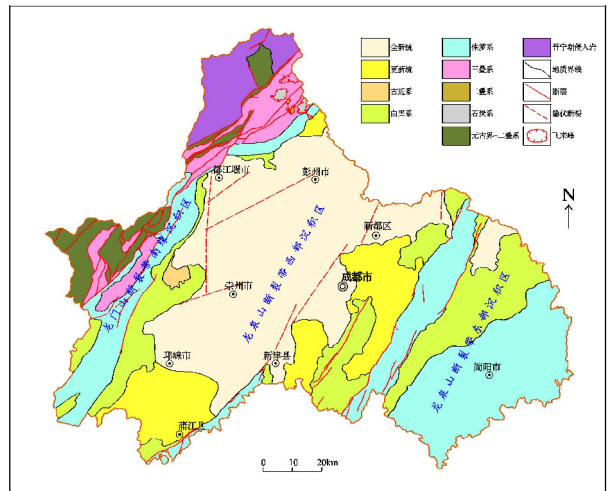


图3 成都市地质略图(据参考文献[30-32]修改)

Fig. 3 Geological map of Chengdu (modified after reference [30-32])

2 综合地质剖面构建

成都市全域三维地质框架模型建模是成都市城市地下空间资源地质调查的一项重要内容,考虑到成都市全域建模面积广、控制深度大、地质构造复杂等特殊性质,项目组采用复杂地质体交互式半自动建模方法进行模型构建,其核心工作是由地质人员构建全域综合地质剖面,在此基础上开展三维地质模型的建设。成都市全域综合地质剖面构建流程见图4。

2.1 资料收集与整理

地质资料是综合地质剖面构建的基础,收集的地质资料越详实,综合研究越深入,构建的剖面就越精准^[43]。本次工作收集的地质资料主要包括成都市域范围内各种比例尺的区域地质、工程地质和水文地质图,以及地质剖面、钻孔资料、物探资料、数字高程模型(DEM)和相关报告、文献等。

(1)成都市市域涉及绵阳市幅(H48C001002)、成都市幅(H48C002002)和宝兴县幅(H48C002001)等三幅1:25万区域地质图,通过连图接边、地层清理、图面整饰等过程,形成了一幅完整的成都市全域地质图,作为综合地质剖面构建的基础地质底图。

(2)水文地质、工程地质资料主要收集了成都平原综合水文地质图(1:10万)、成都平原工程地质图(1:10万)和绵阳、灌县、成都、邛崃、简阳等五幅1:20万水文地质图及相应报告,为综合地质剖面图上含水层、隔水层划分、以及重要工程岩土体的表达提供了依据。

(3)构造纲要图是在绵阳市幅、成都市幅和宝兴县幅等三幅构造纲要图的基础上,对成都市域的构造格架进行了梳理,对断层、褶皱等重新编号,编制了成都市全域构造纲要图。

(4)地质剖面包括在成都市域范围内开展区域地质调查、水文地质和工程地质调查过程中测制的各类大比例尺地质剖面。

(5)目前收集到成都市域范围内的钻孔资料有两万多份,大部分为孔深<100m的工程勘察钻孔,对全域综合地质剖面构建的意义不大,经筛选后孔深≥100m的钻孔总共有73个,其中孔深100~200m的钻孔33个,孔深200~1000m的钻孔28个,孔深>1000m的钻孔12个,最深钻孔可达5000m,这些钻孔资料为构建全域综合地质剖面提供了重要依据。

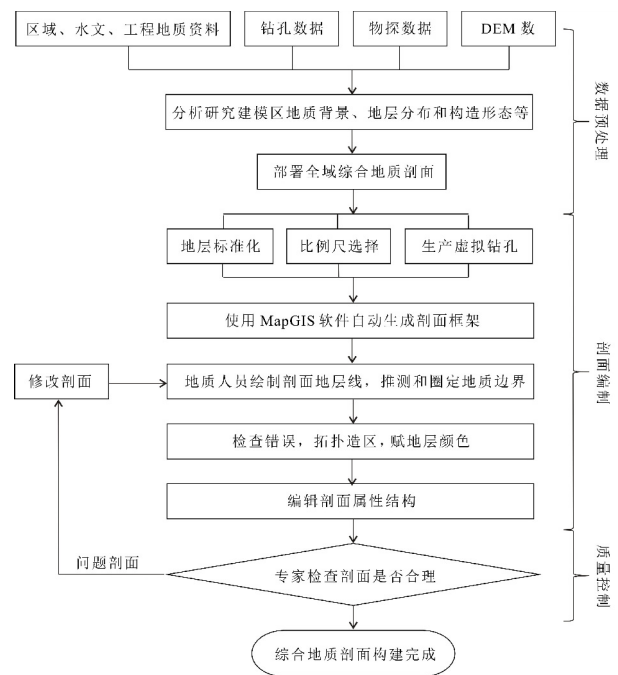


图4 综合地质剖面构建流程

Fig. 4 Construction process of comprehensive geological section

(6)在可有效利用钻孔数量有限,且分布不均的情况下,物探资料也可作为综合地质剖面构建过程中重要的参考依据,主要收集了成都平原大地电磁深剖面测量成果、成都平原第四系厚度等值线图物探成果资料。

(7)地形数据采用的是分辨率为30m的DEM高程数据,用于生成剖面地形线。

2.2 剖面部署

根据成都市地质构造特征和钻孔分布情况,部署了全域综合地质剖面。成都市全域总共布设了25条剖面,总长约2002km,其中大剖面18条、纵剖面2条、加密剖面5条,基本上控制了全域的断层、褶皱等重要构造和地质单元(图5)。

(1)剖面主要根据钻孔位置布设,尽量让剖面经过钻孔或靠近钻孔,没有钻孔控制的剖面主要参考以往地质剖面和物探剖面布设。

(2)大剖面横贯成都市全域,走向与全域地层构造展布方向基本垂直,剖面之间最小间距约5.2km,最大间距约14.5km,平均间距8.9km,完全满足成都市全域三维地质框架模型建模的要求。

(3)纵剖面布置在成都中部平原区的东西两侧,与大剖面的走向基本垂直,起到划分建模分区

的作用,以这两条纵剖面为界可以把成都市全域三维地质框架模型分为西部高山区、中部平原区和东部低山丘陵区,同时能解决建模区域过长引起的交互操作不便的问题。

(4)加密剖面主要针对地质构造复杂区大剖面和纵剖面无法有效控制复杂地质体的情况进行补充。龙门山边缘带地质构造复杂,断层、褶皱、飞来峰等广泛发育,18条大剖面难以对区内所有地质体进行有效控制,因此,在大剖面基础上布设了5条加密剖面。

(5)由于大剖面与纵剖面剖面有交叉现象,剖面绘制之前需在交叉点布设虚拟钻孔^[15],以保证交叉剖面的一致性^[16]。大剖面与纵剖面之间共25个交叉点,布设了25个虚拟钻孔。

2.3 剖面构建的技术实现

(1)地层标准化。受西部龙门山造山带、东部龙泉山断裂带影响,成都地区地质构造复杂。不同时期,不同地质学者对成都地区地层划分认识不一致,同一地层在不同时期、不同区域的资料中命名不一致,导致地质资料中部分地层、岩层归属甄别难度较大^[44-45],在构建剖面之前要对地层开展标准化处理,将地层划分统一起来,并按照沉积顺序对地层进行编码,建立一个覆盖建模区地层的“标准地层编码表”,以备后续三维地质建模使用。地层编码遵循“从新到老、逐层递增”的原则,即最新的地层编码为“1”,然后按地层年代逐渐递增。

(2)比例尺选择。为了保证成都市综合地质剖面的分层精度,同时满足全域三维地质框架模型建模的要求,将剖面制图比例尺设定为横比例尺1:50000,纵比例尺1:10000;部分短剖面比例尺可根据分层情况调整为横比例尺1:50000,纵比例尺1:50000。

(3)确定剖面底界。成都全域三维地质框架模型建模控制深度为2000 m,要求全域综合地质剖面控制的地层整体厚度要超过2000 m,考虑到成都市域内最低海拔为387 m,选择海拔-1700 m做为全域综合地质剖面的底界。

(4)生产虚拟钻孔。大剖面与纵剖面的交叉处要虚拟钻孔,虚拟钻孔以地质图、产状、地表高程、周边其他钻孔或剖面等资料为基础生产钻孔分层数据,做到与其他建模数据有较好的一致性。

(5)绘制剖面地层线。根据钻孔数据确定地层分界点,将相邻钻孔之间同一地层的顶板用实线进

行连接以表示地层,在没有钻孔控制的地方参考已有的区域地质资料、水文工程地质资料、地质剖面和物探剖面等数据,计算地层分层厚度,刻画断层、褶皱等构造形态,连接不同钻孔的地层分界点形成剖面地层线。

3 剖面构建中遇到的地质问题及处理方法

基于25条全域综合地质剖面构建了成都市全域三维地质框架模型,经验证,生成的模型基本能反映成都市全域地质体、构造等的空间展布情况(图6)。

成都盆地沉积环境复杂,区内地层发育程度不均衡,在综合地质剖面构建的过程中,经常会遇到同时代、同层位的不同地层之间无法延伸的问题,下面提出了几种解决方法。

成都市域大体可分为龙门山断裂带南缘、龙泉山断裂带西部和龙泉山断裂带东部等三个沉积区,不同沉积区的地层层序、岩石组合特征、沉积物厚度也有所差别(图7)。龙门山断裂带南缘出露的地层主要有上三叠统须家河组(T_3x)、下—中侏罗统自流井组($J_{1,2z}$)、中侏罗统沙溪庙组(J_2s)、上侏罗统遂宁组(J_3sn)、上侏罗统莲花口组(J_3l)、白垩系夹关组($K_{1,2j}$)、上白垩统灌口组(K_2g)、古新统一始新统名山组($E_{1,2m}$)和上新统大邑砾岩(N_2d)。龙泉山断裂带西部地区出露的地层主要有上三叠统须家河组(T_3x)、下—中侏罗统自流井组($J_{1,2z}$)、中侏罗统沙溪庙组(J_2s)、上侏罗统遂宁组(J_3sn)、上侏罗统蓬莱镇组(J_3p)、下白垩统天马山组(K_1t)、下—上白垩统夹关组($K_{1,2j}$)、上白垩统灌口组(K_2g)、古新统一始新统名山组($E_{1,2m}$)和上新统大邑砾岩(N_2d)。龙泉山断裂带东部地区出露的地层主要有中侏罗统沙溪庙组(J_2s)、上侏罗统遂宁组(J_3sn)、上侏罗统蓬莱镇组下段(J_3p^1)和上侏罗统蓬莱镇组上段(J_3p^2)、下白垩统苍溪组(K_1c)、下白垩统白龙组(K_1b)、下白垩统七曲寺组(K_1q)、下白垩统古店组(K_1g)。

从图6可以看出,龙门山断裂带南缘夹关组($K_{1,2j}$)地层之下为莲花口组(J_3l),缺失了天马山组(K_1t);龙泉山断裂带西部地区夹关组($K_{1,2j}$)之下为天马山组(K_1t)和蓬莱镇组(J_3p);龙泉山断裂带东部地区上白垩统及以上地层缺失,与天马山组(K_1t)相对应的地层为古店组(K_1g)、七曲寺组(K_1q)、

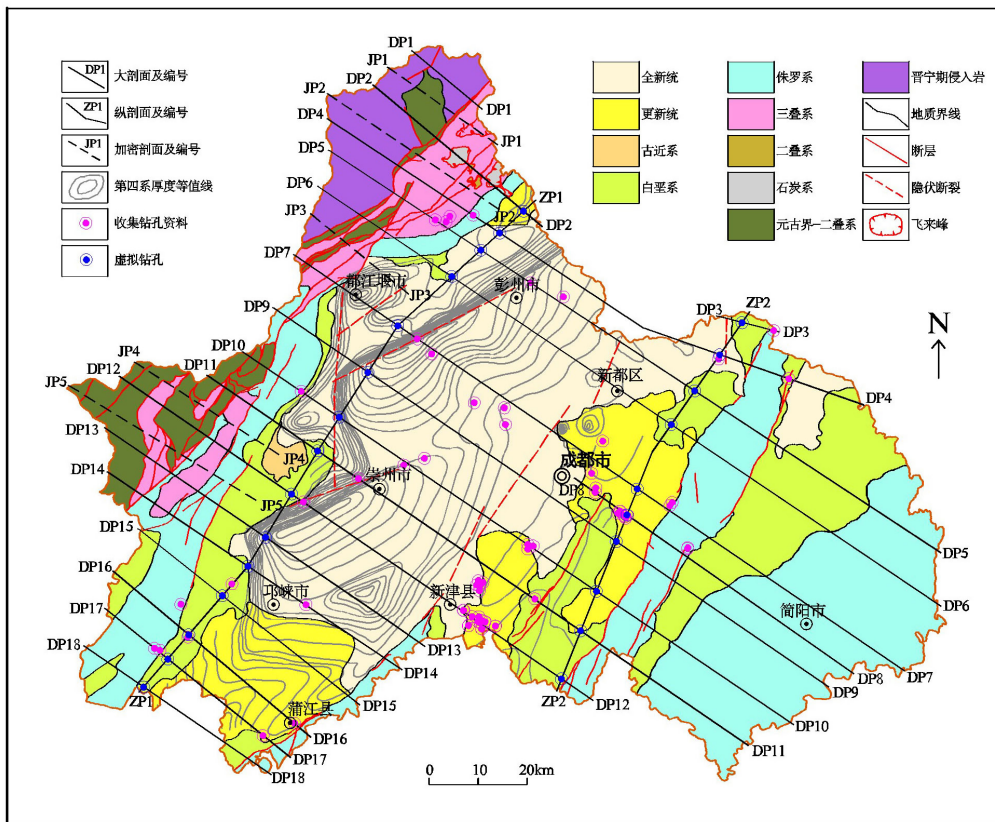


图5 成都市全域综合地质剖面部署图

Fig. 5 Deployment of comprehensive geological profiles in Chengdu

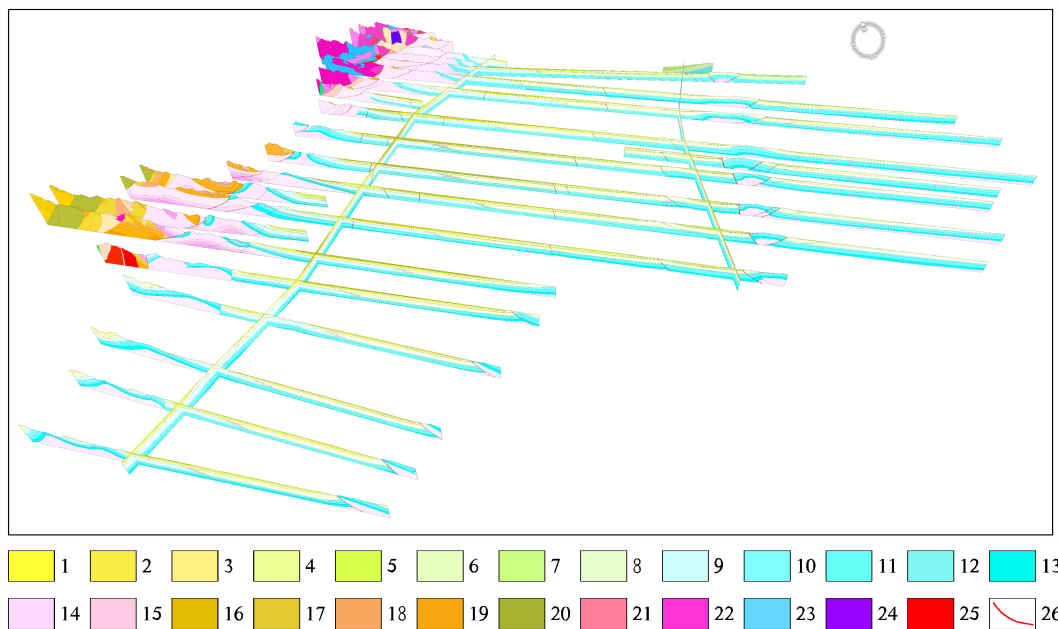


图6 成都市全域综合地质剖面网格效果图

1. 第四系;2. 大邑砾岩;3. 名山组;4. 大溪砾岩;5. 灌口组;6. 夹关组;7. 天马山组;8. 蓬莱镇组;9. 莲花口组;10. 遂宁组;11. 沙溪庙组;12. 千佛岩组;13. 自流井组;14. 须家河组;15. 雷口坡组;16. 三道桥组;17. 梁山组. 阳新组;18. 茅坝组;19. 观雾山组;20. 茂县群;21. 晚元古代花岗闪长岩;22. 晚元古代二长花岗岩;23. 晚元古代闪长岩;24. 晚元古代蛇纹岩;25. 元古代奥长花岗岩;26. 断层

Fig. 6 Grids of comprehensive geological sections in Chengdu

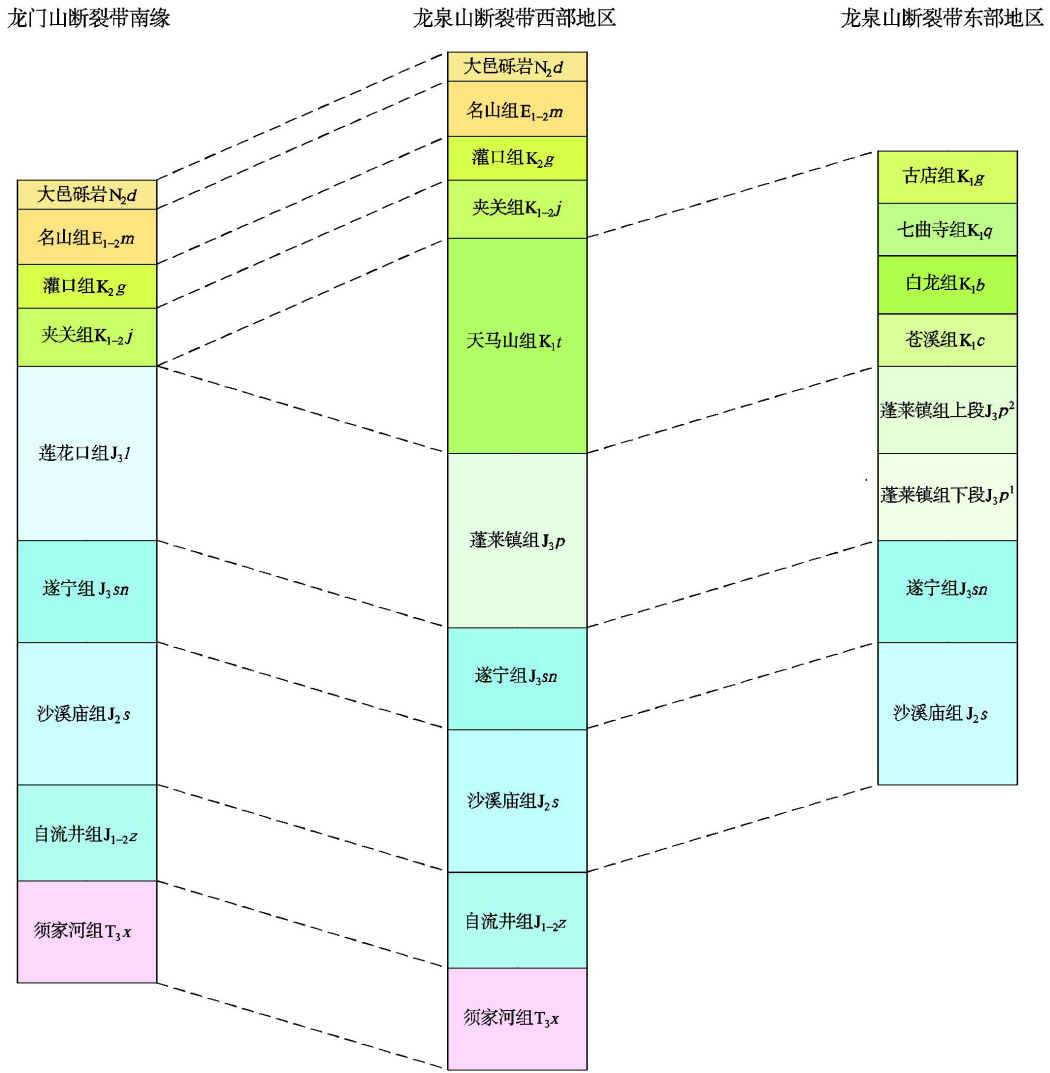


图 7 成都市域主要地层分区对比图

Fig. 7 Comparison of major stratigraphic divisions in Chengdu

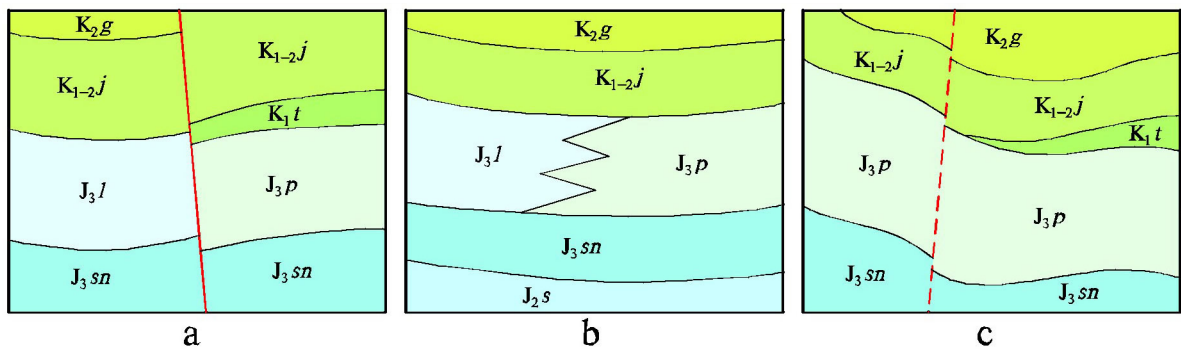


图 8 三种地层连接方式示意图

a. 断层分隔; b. 相变连接; c. 地层尖灭

Fig. 8 Schematic diagram showing three types of strata connection

白龙组(K_1b)和苍溪组(K_1c),蓬莱镇组(J_3p)因分布面积较广而进一步划分为莱镇组上段(J_3p^2)和蓬莱镇组下段(J_3p^1),这就造成了处在相同层位的地层因分层定名不同在剖面上无法正常延伸的问题。通过对区域地层的对比研究,提出了三种解决方法:一是断层分隔,用分区断裂来对不同的地层进行分隔,既符合地质规律,又不影响剖面的合理性(图8-a);二是相变连接,处在不同沉积区而层位相同的两套地层,由于沉积环境不同而岩性组合稍有差异,在剖面上可以采用相变方式连接,中间以相变界线进行区分(图8-b);三是地层尖灭,对于一个沉积区有而另一个沉积区缺失的地层,可以采用尖灭的方式处理(图8-c)。

4 结论

(1)在建模面积广、控制深度大、地质构造复杂的地区采用基于综合地质剖面构建三维地质模型的方法具有良好的效果,该方法能有效实现复杂地质体人机交互式半自动建模,提高三维地质建模的效率和精准度。

(2)本文将剖面构建过程中遇到的地层不连续问题与区域地质规律充分结合,提出了三种解决这类问题的方法,充分发挥了地质人员在剖面构建中的作用,构建的综合地质剖面更准确,生成的三维地质模型更能逼真地表达地质结构全貌。

参考文献:

- [1] 郑佳荣,王强,占文锋. 三维建模方法研究现状综述[J]. 北京工业职业技术学院学报,2013,12(4):5-7+36.
- [2] Dong P. Generating and updating multiplicatively weighted Voronoi diagrams for point, line and polygon features in GIS [J]. Computers & Geosciences,2008,34(4):411-421.
- [3] 程鹏根,文红. 三维空间数据建模及算法[M]. 北京:国防工业出版社,2011.
- [4] 王春女,董庆吉,韩振哲,等. 三维地质模型建模方法[J]. 矿床地质,2014,33(S1):1033-1034.
- [5] 卢鹏飞,龙奎,杨春,等. 重庆都市经济圈城市地质三维地质结构模型构建方法[J]. 地质学刊,2017,41(1):79-84.
- [6] 吴志春,郭福生,林子瑜,等. 三维地质建模中的多源数据融合技术与方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2016,46(6):1895-1913.
- [7] 张雪,马国玺,朱涛等. 三维地质应用模型构建方法研究及应用[J]. 工程勘察,2017,45(4):49-54+63.
- [8] 李梅,姜展,姜龙飞,等. 三维可视化技术在智慧矿山领域的研究进展[J/OL]. 煤炭科学技术:1-11[2020-09-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20200730.1059.002.html>.
- [9] 武博. 多点统计学在城市地质三维建模中的应用前景[J]. 江西建材,2020(07):83-84.
- [10] 邓超,何政伟,郝明,等. 基于 MapGIS 的成都市城市三维地质建模[J]. 地理空间信息,2020,18(07):51-54+7.
- [11] 董梅,慎乃齐,胡辉,等. 基于 GOCAD 的三维地质模型构建方法[J]. 桂林理工大学学报,2008,28(2):188-192.
- [12] 张琪,许延波,丁妍,等. Vulcan 软件在三维地质建模中的应用——以胶东某金矿为例[J]. 有色金属(矿山部分),2020,72(04):135-138.
- [13] 庞庆刚,车德福,贾庆仁. 基于多尺度 CSRBFs 的地层三维地质建模[J]. 金属矿山,2020(07):155-160.
- [14] 代欣位,郭甲腾,刘善军,等. 基于动态四叉树索引的三维地质模型组合剖切算法[J]. 地理与地理信息科学,2020,36(04):8-13.
- [15] 靳德武,李鹏,赵春虎,等. 采场三维充水结构地质建模及动态可视化实现[J]. 煤炭科学技术,2020,48(07):143-149.
- [16] 王统,田宜平,罗莹莹,等. 基于地质大数据与构造语义约束的断层建模[J]. 地质科技通报,2020,39(04):69-75.
- [17] 董少群,吕文雅,夏东领,等. 致密砂岩储层多尺度裂缝三维地质建模方法[J]. 石油与天然气地质,2020,41(03):627-637.
- [18] 陈国良,朱良峰,刘修国. 三维地质结构建模中交叉剖面一致性检校方法[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版),2009,22(3):406-409.
- [19] 李万红. 基于 AUTO Civil 3D 的三维地质建模与应用[J]. 人民长江,2020,51(08):123-129.
- [20] 程丹,杨钦,张永波,等. 基于水文剖面的三维地质建模方法[J]. 北京航空航天大学学报,2007(11):1362-1366.
- [21] 汪淑平,王伟,孙黎明,等. 基于地质剖面数据的含断层地质体三维建模方法[J]. 测绘地理信息,2016,41(3):59-63.
- [22] 张伟,薛林福,彭冲,等. 基于剖面三维地质建模方法及在本溪地区应用[J]. 地质与资源,2013,22(5):403-408.
- [23] 李陈. 基于剖面的三维复杂地质体建模技术研究[D]. 成都:成都理工大学,2018.
- [24] 朱良峰,吴信才,刘修国,等. 基于钻孔数据的三维地层模型的构建[J]. 地理与地理信息科学,2004(3):26-30.
- [25] 孟凡利. 基于钻孔数据的三维地层模型构建方法研究[D]. 西安:西安科技大学,2006.
- [26] 李爱勤,何珍文,邓轶. 城市地质中基于剖面的3层状地质体动态建模[J]. 中国图象图形学报,2011,16(9):1702-1707.
- [27] 冉祥金. 基于剖面的三维地质建模系统中剖面绘制及验证方法[C]. 中国地质学会. 中国地质学会2015学术年会论文摘要汇编(中册). 中国地质学会;中国地质学会地质学报编辑部,2015:298-299.
- [28] 吴志春,郭福生,姜勇彪,等. 基于地质剖面构建三维地质模型的方法研究[J]. 地质与勘探,2016,52(2):363-375.
- [29] 王瑶,张像源,陈文杰,等. 虚拟钻孔在深层三维地质建模中的应用[J]. 城市地质,2017,12(2):118-122.

- [30] 四川省地质调查院. 1:25 万成都市幅区域地质调查报告 [R]. 2012.
- [31] 四川省地质调查院. 1:25 万绵阳市幅区域地质调查报告 [R]. 2013.
- [32] 四川省地质调查院. 1:25 万宝兴县幅区域地质调查报告 [R]. 2013.
- [33] 李明欣, 梁斌, 王全伟, 等. 川西龙泉山白垩系泥质岩的元素地球化学特征[J]. 高校地质学报, 2013, 19(2): 346-354.
- [34] 付小芳, 侯立玮, 梁斌, 等. 成都平原第四纪断裂及其活动性 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [35] 刘亮, 梁斌, 燕中林, 等. 龙泉山断裂带隐伏断层氦气特征及其活动性分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2019, 39(2): 45-53.
- [36] 梁斌, 朱兵, 王全伟, 等. 成都平原第四纪地质与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [37] 王羽珂, 陈浩, 冯兴雷, 等. 成都平原东郊台地中更新统合江组沉积特征及工程地质意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2019, 39(03): 33-39.
- [38] 应立朝, 梁斌, 王全伟, 等. 成都平原区成都粘土的粒度特征及其成因意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2012, 32(1): 72-77.
- [39] 应立朝, 梁斌, 王全伟, 等. 成都粘土地球化学特征及其对物源和风化强度的指示[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1666-1674.
- [40] 梁斌, 王全伟, 朱兵, 等. 川西地区成都粘土的光释光年代学 [J]. 第四纪研究, 2013, 33(4): 823-828.
- [41] 唐屹, 付小方, 梁斌, 等. 成都市天府新区成都直管区第四系地层特征[J]. 四川地质学报, 2018, 38(4): 569-575.
- [42] 王全伟, 梁斌, 朱兵, 等. 川西龙泉山西坡更新世泥石流的出现及其意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 33(1): 1-4.
- [43] 雷传扬, 王静, 谢海洋, 等. 地质大数据建库存量资料收集与整理方法研究[J]. 国土资源科技管理, 2020, 37(4): 70-80.
- [44] 张美玲, 吴佳忆, 蒙启安, 等. 海拉尔盆地含火山岩地层复杂岩性剖面构建技术[J]. 地质科学, 2011, 46(4): 1166-1177.
- [45] 董有浦, 沈中延, 肖安成, 等. 南大巴山冲断褶皱带区域构造大剖面的构建和结构分析[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 689-698.

A geological 3D modeling method of comprehensive geological section for Chengdu

Wang Bo^{1,2}, Lei Chuanyang^{1,2}, Liu Zhaoxin², Fan Min¹, Wang Xingqiang³, Ye Fanzhong³, Zhang Kun¹

(1. *Evaluation and Utilization of Strategic Rare Metals and Rare Earth Resource Key Laboratory of Sichuan Province Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China*; 2. *405 Geological Team, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Dujiangyan 611830, Sichuan, China*; 3. *109 Geological Team, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610100, Sichuan, China*)

Abstract: Comprehensive geological section is an important source of data for geological 3D modeling. Building geological 3D model by using comprehensive geological section is widely used in areas with complex geological settings. Taking Chengdu as an example, this paper introduces in detail the geological data to be collected for the construction of comprehensive geological profile, the deployment principle and construction method of the profile, and solving the problem of connection between different strata of the same age and horizon in the process of profile construction. Practice shows that the construction of comprehensive geological section can give full play to the subjective initiative of geologists in geological 3D modeling, accurately depict the distribution of complex geological bodies in 3D space, and improve the efficiency and accuracy of geological 3D modeling.

Key words: comprehensive geological section; geological 3D modeling; profile construction; geological problem and treatment; Chengdu