

山地城市岩土工程综合勘察 技术理论与实践

Theory and Parctice of Comprehensive Technology System of
Geotechnical Engineering Survey in Mountainous City

陈翰新 冯永能 向泽君 编著

中国建筑工业出版社

Theory and Parctice of Comprehensive Technology System of
Geotechnical Engineering Survey in Mountainous City

山地城市岩土工程综合勘察 技术理论与实践

陈翰新 冯永能 向泽君 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

山地城市岩土工程综合勘察技术理论与实践/陈翰新等编
著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-112-20186-0

I. ①山… II. ①陈… III. ①山区城市-市政工程-工程地质勘察-研究 IV. ①TU99

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 001580 号

本书在总结多年山地城市岩土工程勘察经验基础上, 结合越岭隧道、跨江大桥、高层建筑、市政工程以及其他山地城市特色工程勘察实践, 系统全面地介绍了山地城市复杂地质条件下的工程综合勘察关键技术体系, 内容充实, 创新性高, 实用性大。全书分两个部分共 12 章。第一部分为山地城市综合勘察技术, 包括: 绪论、山地城市工程地质特征、多源多尺度工程地质测绘、地质环境综合探测、复杂环境下的工程钻探与测试、特殊条件下的岩土工程分析技术、工程勘察信息化及建设工程全生命周期运用; 第二部分为山地城市综合勘察实录, 包括: 越岭隧道工程勘察实录、跨江大桥工程勘察实录、都市圈复杂环境条件下建筑工程勘察实录及其他山地城市特色工程勘察实录。

本书可供岩土工程勘察、设计、施工及运营管理的工程技术人员参考, 亦可供教学人员参考。

* * *

责任编辑: 王 梅 杨 允

责任设计: 李志立

责任校对: 李欣慰 姜小莲

山地城市岩土工程综合勘察技术理论与实践

陈翰新 冯永能 向泽君 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

环球东方 (北京) 印务有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 $\frac{3}{4}$ 字数: 513 千字

2017 年 12 月第一版 2017 年 12 月第一次印刷

定价: 55.00 元

ISBN 978-7-112-20186-0

(29695)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

山地城市岩土工程综合勘察技术是针对山地城市特殊的工程地质条件和重大建设工程需求,结合现代遥感、地理信息、工程勘察、岩土设计以及工程检测监测等专业的大量工程实践经验,总结出一套适用于山地城市复杂地质条件下的工程综合勘察成套技术流程与体系,可实现工程勘察全行业、多专业的协同工作,切实提高工程勘察成果质量、工程勘察技术水平以及确保工程建设安全。本书具有以下特点:

一是建立了适用于山地城市的综合勘察成套技术体系,实现了以工程勘察为核心,融合工程测量、航测遥感、工程物探、地理信息、工程设计、工程监测等多专业的协同技术创新,成功解决了复杂地质环境中的工程勘察难题,有效提升了山地城市规划、建设与管理科学性、安全性。

二是提出了基于天地一体化的基础数据高效获取方法,综合运用了多星定位、无人机倾斜摄影、三维激光扫描、工程综合物探、特殊环境钻探与测试等多项前沿技术,实现了山地城市地上、地下综合信息的准确、快速及安全获取。

三是构建了多源数据与多方法集成的岩土工程分析评价技术体系,高效集成了隧道围岩、危岩、滑坡、地下水及边坡等各类岩土工程的分析方法,针对山地城市复杂地质条件与高标准建设要求,重点解决了地下隧道开挖、地质灾害防治与基坑边坡支护等工程技术难题。

四是建立了城市工程勘察信息化技术体系,利用互联网、大数据、移动 GIS 等新型技术,研发了岩土勘察内外业一体化系统、工程地质数据库、地下空间信息集成管理平台和工程勘察 BIM,实现了工程勘察作业一体化、集成化和成果可视化。

五是实现了工程勘察、设计、施工和运维等环节的协同工作与数据共享,整合了以工程勘察成果为支撑的建设工程全生命周期产业服务链,研发了岩土工程三维辅助设计系统、工程安全自动化监测体系以及监测云服务平台。

本书由重庆市勘测院、重庆市岩土工程技术研究中心共同组织编写,陈翰新负责全书的策划和统校定稿,冯永能负责岩土工程勘察部分的统校定稿,向泽君负责工程测绘与地理信息部分章节的统校定稿,各章的具体编写名单如下:

第 1、2 章 陈翰新,黄勋

第 3 章 向泽君,岳仁宾,周智勇,王快,黄承亮

第 4 章 周成涛,欧阳明明,郑跃骏

第 5 章 冯永能,郭微,刘洋,张立舟

第 6 章 冯永能,刘洋,郭微,黄承亮,欧阳明明,崔遥,刘廷伟

第 7 章 向泽君,明镜,李劼,王昌翰

第 8 章 周成涛,明镜,周智勇,胡波,李劼,王快

第 9 章 陈翰新,江景雄,石金胡,杨孟德,陈小平,黄勋

第 10 章 周庆人,杜逢彬,刘世杰,何忠良,曾繁华,刘洋

第 11 章 邹喜国, 侯大伟, 朱鹏宇, 司涛, 王乾程, 李劼, 郭微

第 12 章 李长雄, 陈继平, 杨元周, 王锐, 李劼, 杨华富

本书部分研究成果分别来自住房和城乡建设部研究开发项目“多尺度山地城市地质信息三维可视化集成研究及应用”(编号: K82014090), 重庆市社会民生科技创新专项基金《水文地质三维建模技术在越岭隧道规划建设中的应用研究》(编号: cstc2016shmszx30021), 重庆市基础与前沿研究计划项目“山地城市多源多尺度地质信息整合应用及在线服务研究”(编号: cstc2014jcyjA90026), 重庆市轨道交通(集团)有限公司专项课题“重庆轨道交通围岩分级及参数优化专题研究”等。在本书的撰写过程中, 还得到了成都理工大学环境与土木工程学院许模教授的大力帮助。本书的出版获得冯永能“重庆市百名工程技术高端人才培养计划”的资助, 在此深表谢意。

由于编者水平和条件有限, 书中难免存在不当和错误之处, 恳请读者批评指正。

编著者

2017 年 8 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 山地城市岩土工程勘察现状	1
1.2 综合勘察目的与关键技术	3
第 2 章 重庆主城区工程地质特征	5
2.1 岩性特征	5
2.2 地质构造	9
2.3 地貌特征	14
2.4 水文地质特征	16
2.5 不良地质作用	16
2.6 主要工程地质问题	18
第 3 章 多源多尺度工程地质测绘	20
3.1 高精度 GNSS 定位	20
3.2 大范围带状地形图测量	22
3.3 复杂环境水下地形测量	26
3.4 复杂地质特征的非接触测量	28
3.5 小结	36
第 4 章 地质环境综合探测	37
4.1 深埋越岭隧道复杂地质环境探测	37
4.2 高密度建筑区建（构）筑物基础探测	40
4.3 多层次复杂地下空间测量	44
4.4 深埋地下管网探测	49
4.5 不均匀级配块碎石填土质量检测	53
4.6 小结	55
第 5 章 复杂环境下的工程钻探与测试技术	56
5.1 特殊地层钻进工艺优化	57
5.2 复杂水域钻探工艺优化	63
5.3 岩石强度回弹测试	66
5.4 岩溶水流场连通示踪试验	72
5.5 小结	76

第 6 章 特殊条件下的岩土工程分析技术	77
6.1 隧道围岩分级优化	77
6.2 基于三维激光扫描的危岩体评价	83
6.3 基于钻孔全景成像的滑坡评价	91
6.4 岩溶隧道涌突水灾害危险性评价	101
6.5 隧道施工建设对地下水环境的影响评价	109
6.6 大断面浅埋立体交叉地下隧道稳定性数值分析	118
6.7 边坡治理中的有限土体支挡	142
6.8 小结	150
第 7 章 工程勘察信息化	153
7.1 岩土勘察内外业一体化	153
7.2 工程地质数据库	159
7.3 城区地下空间集成管理	173
7.4 基于多源地质信息的工程勘察 BIM	177
7.5 小结	186
第 8 章 建设工程全生命周期运用	187
8.1 岩土工程三维辅助设计	187
8.2 施工期安全监测（地下工程施工地表形变监测）	197
8.3 运营期安全监测（建筑工程安全自动化监测）	203
8.4 重大基础设施安全监测云平台	211
8.5 小结	218
第 9 章 越岭隧道工程勘察实录	219
9.1 项目概况	219
9.2 自然地理及工程地质条件	220
9.3 勘察测试技术手段	227
9.4 工程地质分析与措施建议	234
第 10 章 跨江大桥工程勘察实录	241
10.1 菜园坝大桥工程勘察实录	241
10.2 寸滩长江大桥工程勘察实录	254
10.3 石门嘉陵江长江大桥工程运营期间监测实录	260
第 11 章 都市圈复杂环境条件下建筑工程勘察实录	272
11.1 重庆塔工程勘察实录	273
11.2 英利大坪商业中心工程勘察实录	283

第 12 章 其他山地城市特色工程勘察实录	289
12.1 五童路小石坝高架桥应急抢险工程勘察.....	289
12.2 朱家湾车辆段岩质高边坡工程勘察.....	302
12.3 浅埋大断面隧道工程勘察——红旗河沟站.....	309
参考文献	320

第 1 章 绪 论

1.1 山地城市岩土工程勘察现状

工程勘察 (Geotechnical Investigation) 是一门服务于工程建设的综合性和应用性技术学科, 在房屋、道路、轨道交通、桥梁等建设工程中占有重要地位; 它在保证工程质量、降低工程造价、缩短工程建设周期以及提高工程经济效益、环境效益和社会效益方面具有关键作用。工程建(构)筑物与岩土体之间处于相互依存又相互制约的矛盾中, 研究两者之间的关系, 促使矛盾的转化和解决, 是工程勘察的基本任务。建设工程勘察的基本内容包括工程测量、水文地质勘察和工程地质勘察, 岩土工程中的勘测、设计、治理、监测活动也属于工程勘察范畴。

近年来, 随着城市经济的飞速发展, 大量重要的基础设施工程纷纷上马, 如轨道交通、越岭隧道、跨江大桥、高层建筑及复杂立交桥等, 但由于山地城市特殊的地形、地质条件, 岩土工程勘察难度相对较高, 仅靠常规单一的勘察技术或手段, 往往难以满足高标准的工程建设要求, 因此, 迫切需要集成多种勘察方法, 协助解决工程勘察中的复杂岩土工程问题。本书以重庆主城区为研究对象, 通过收集、调查超高层建筑、城市轨道交通、大型场馆和市政道路等重大项目的岩土工程勘察成果, 系统介绍山地城市复杂地质环境条件下的综合勘察技术关键技术体系, 助力实现勘察工作的高效化、准确化、安全化及低成本化, 从而保障设计方案和工程投资的最优化。

1.1.1 工程地质测绘

在岩土工程勘察中, 工程地质测绘的工作目的是为了研究拟建场地的地层、岩土、构造、地貌、水文地质条件及地理地貌现象, 提供工程勘察的基础数据, 为工程建设选址、选线及勘察方案布置提供依据。对于山地城市来讲, 工程地质测绘的工作对象主要包括地表地形数据、地下空间信息、工程地质基础信息以及地质灾害分布信息等。

随着空间信息获取技术和图像处理技术的不断发展, 工程地质测绘主要呈现出如下 3 个方面的发展趋势。

(1) 移动 GIS 技术的应用: 在岩土工程勘察中, 移动 GIS 技术的应用, 为工程建设提供了大量的地理信息数据, 这些数据不仅详细、科学, 而且具有很强的现时性, 推进了地质测绘技术的智能化发展, 并结合三维可视化技术, 辅助解决地质测绘中数据信息量大、处理方法过于复杂的难题;

(2) 遥感技术的应用: 与传统测绘技术相比, 遥感技术的应用, 一方面扩大了地质测绘的范围, 提升了地质测绘的工作效率; 另一方面, 也展现了现有地质测绘的实效性, 并保证了测绘数据的准确性;

(3) 数字化技术的应用: 数字化技术的应用, 实现了图纸绘制的自动化修补, 并结合

相关系统,分析地质的几何特性以及地质属性和环境属性,构成区域网络,实现数据和资源的共享。

1.1.2 工程勘探与测试

20世纪80年代后期以来,随着我国经济建设的腾飞,在城建、交通、矿山、水利和水电资源开发等领域的基础设施建设得到了快速发展,尤其是城市建设和交通建设的发展,因为与人们的日常生活密切相关而备受世人瞩目。各类建设工程都离不开岩土,它们或以岩土为材料,或与岩土介质接触并相互作用。对与工程有关岩土体的充分了解,是进行工程设计与施工的重要前提。

现状调查表明,除有特殊要求或重要的项目外,目前绝大多数工程地质勘察主要采用地质调查与测绘、钻探、原位测试(标准贯入试验、动力触探试验、波速测试)、取样和室内试验、水文试验及浅层地震等常规手段。个别重点项目采用了现场剪切试验、孔内电视摄像、高密度电法等新技术手段。已有文献资料,多有涉及高新勘察技术方法的运用,或勘察技术方法的综合应用,或涉及综合勘察技术方法,但未见形成综合勘察技术体系,更没有针对山地城市复杂地质条件下的成套综合勘察技术。

综合勘察技术是在搜集、分析研究既有地质资料的基础上,以遥感判译为先行,以大面积地质调查为基础,以综合物探和适量的深孔钻探为主要勘探手段,并辅以必要的孔内测试试验、现场原位测试等的一种综合性勘察方法,可以有效地控制和查明工程地质和水文地质问题。运用各种勘察手段相互指导、验证、取长补短,可以有效地提高岩土工程的工程地质勘察质量。采用综合勘察技术,对勘察资料进行综合分析,可以使提供的地质资料更加全面、准确,为设计、施工和运营提供更为可靠的地质与环境资料。

目前,综合物探手段已在复杂岩土工程勘察中应用广泛。能够用于工程勘察的物探方法有许多,主要包括电法勘探、电磁法勘探、地震勘探及综合测井等,但由于地质参数受到多种因素影响,仅从单一的物性参数出发选取物探手段,难以实现物探资料的精确解译,因此我们必须结合实际情况,充分考虑探测目标的物理参数特征,选取合理优质的方法组合,使各个方法成果得以互相佐证,利用不同的物探方法的互补性来验证物探多解性,才能提高成果的解译精度和可靠性。

1.1.3 城市地质信息化

用信息技术来改变传统城市地质工作模式,这是城市地质工作发展的必然趋势。传统的城市地质工作模式在由数据到价值的这一链条中,由于信息化程度低,更多强调的是专家知识经验,数据利用率和城市地质知识普及率都非常低;而新的以可视化和信息共享为主要特点的城市地质工作模式,借助信息系统搭建起由数据到知识、应用的通道,强调城市地质信息的通俗化、实用性、共享性和社会管理应用价值的转换。

城市地质信息化工作目前可以划分为城市地质数据的采集和处理、管理维护、分析应用、共享与服务等主要信息化环节。城市地质数据采集与处理主要是对现有地质数据的分类、整理和数字化;城市地质数据管理维护主要涉及对各类地质数据的入库管理,确保其及时更新;城市地质数据分析应用是利用二维、三维可视化GIS平台对各类地质数据进行专业分析评价;城市地质信息共享与服务就是将获取的各类城市地质信息数据、分析评

价成果结论进行动态发布、共享。

三维地质建模是城市地质信息化的一项基础性工作,它是以各种原始数据(包括钻孔、剖面、地震数据、等深图、地质调查图、地形数据、物探数据、化探数据、工程勘察数据、工程监测数据、水文监测数据等)为基础,建立能够反映地质构造形态、构造关系及地质体内部属性变化规律的数字化模型,通过适当的可视化方式,该数字化模型能够展现虚拟的真实地质环境,更重要的是基于模型的数值模拟和空间分析,能够辅助科学决策和风险规避。

目前,针对不同的地质成果数据,在构建不同尺度的三维地质模型时,主要有基于勘察钻孔数据的地质建模、基于地质剖面数据的地质建模、基于三棱柱的地质建模、基于曲面的地质建模等方法。通过以上方法得到的三维地质模型已经广泛地应用于社会发展的各个领域,例如在城市地质研究中,三维地质建模技术的应用可以辅助研究城市地层展布和断裂构造分布规律,合理开发利用城市地下空间、开采地下水资源、规避不利地质条件,科学布置城市功能区划;在岩土工程勘察、设计施工的全过程中,利用三维地质模型,方便工程设计同施工方的交流,准确分析实际地质问题,减少工程风险。

1.2 综合勘察目的与关键技术

1.2.1 综合勘察的目的

城市化进程和地下空间开发利用为城市工程勘察带来新的挑战。通过长期的工程建设实践,对于高层建筑和市政工程的设计和施工,工程技术人员已经积累了大量的实践经验,但是由于山地城市特殊的地质构造和岩土体性质的复杂性,以及城区工程建设中对环境保护的高标准要求,加上工程建设规模越来越大、技术难度越来越高,仅靠传统的地质调绘和常规勘探方法进行勘察,不但工期长、成本高,而且准确性低,难以满足设计、施工的需要,这就需要充分发挥现代空间信息技术,综合运用钻探、物探、测试等多种勘察方法综合对工程区地质条件进行全面分析,在最合理的工期、用最优的成本获取尽可能详细、准确的地质资料。

1.2.2 综合勘察的主要内容

本书将在总结工程勘察现有的常规和高新技术手段的基础上,针对山地城市特殊的工程地质条件和重大建设项目的工程需求,并结合现代遥感、地理信息、工程勘察、岩土设计以及工程检测监测方面多专业融合的大量工程实践经验,构建一套适用于山地城市复杂地质条件下的工程综合勘察成套技术流程与体系,以实现多专业协同的工作机制,解决工程勘察关键环节存在的效率低、成本高、时效差等缺点,这对于提高工程勘察质量、提升工程管理水平、有效地保障城市规划、建设与管理具有极大的理论指导和工程实践意义。具体来讲,包括以下5个方面的研究内容:

(1) 基于天地一体化勘探手段的工程勘察基础地形、地质信息的快速、实时、准确获取,重点解决传统技术在复杂环境下的特殊地形数据、地下空间信息、浅表填土层信息以及深部地质信息等获取中存在的问题;

(2) 山地城市特殊岩土工程分析评价研究,重点解决山地城市隧道围岩分级、地质灾害评价、隧道施工与地下水相互关系评价以及边坡支护方案等问题;

(3) 构建岩土勘察内外业一体化系统、工程地质数据库及地下空间集成管理平台等信息化系统,实现山地城市工程勘察成果的集成化高效管理,并建立工程勘察 BIM 模型,重点解决现有工程勘察二维图纸表现形式单一,可视化不够形象,各要素容易发生碰撞等问题;

(4) 延伸工程勘察的建筑全生命周期服务链,利用勘察信息化成果,实现岩土工程三维辅助设计;同时,在施工和后期运营维护阶段,利用物联网和云服务技术实现工程安全检测与监测。

1.2.3 综合勘察的关键技术

(1) 多源多尺度工程地质测绘

利用卫星定位、无人机、水域机器人及三维激光扫描等技术手段,高效、快速、准确地获取建设场区的地形地貌、地质数据,关键技术包括:①高精度 GNSS 定位;②大范围带状地形图测量;③复杂地质特征的非接触测量。

(2) 地质环境综合探测

利用多种物探技术手段,实现工程建设场地周边不良地质体、既有建(构)筑物的基础及隐蔽地下结构体、城市地下管线以及深部地质信息的无损准确探测,关键技术包括:①深埋越岭隧道复杂地质环境探测;②高密度建筑区建(构)筑物基础探测;③多层次复杂地下空间测量;④深埋地下管网探测;⑤不均匀级配块碎石填土质量检测。

(3) 复杂环境下工程钻探与测试

利用新型工程钻探与岩土测试手段,重点解决山地城市特殊地层、复杂水域环境的钻探工艺优化、岩石强度参数快速获取、水文地质试验等方面存在的技术难题,关键技术包括:①特殊地层钻进工艺优化;②复杂水域钻探工艺优化;③岩石强度回弹测试;④岩溶水流场连通示踪试验。

(4) 特殊岩土工程分析评价

利用数值模拟、三维激光扫描及孔内成像等技术手段,针对山地城市特殊的岩土工程问题展开综合评价分析。关键技术包括:①隧道围岩分级优化;②基于三维激光扫描的危岩体评价;③基于钻孔全景成像的滑坡评价;④岩溶隧道涌突水灾害危险性评价;⑤隧道施工建设对地下水环境的影响评价;⑥浅埋隧道稳定性数值分析;⑦边坡治理中的有限土体支挡。

(5) 工程勘察信息化

针对重庆山地城市特点,利用互联网、地理信息、BIM 等技术,对岩土工程勘察数据的采集、建模、存储、管理、可视化及网络化服务的全过程开展深入的信息化挖掘。关键技术具体包括:①岩土勘察内外业一体化;②工程地质数据库;③城区地下空间集成管理;④基于多源地质信息的工程勘察 BIM。

(6) 岩土工程全生命周期运用

利用大数据、云服务和物联网等前沿技术,在工程勘察信息化成果的基础上,拓展其在建设工程全生命周期的应用范围。关键技术包括:①岩土工程三维辅助设计;②施工期安全监测;③运营期安全监测;④重大基础设施安全监测云平台。

第2章 重庆主城区工程地质特征

2.1 岩性特征

重庆主城区的地层及岩性由老至新为二叠系长兴组,三叠系的飞仙关组、嘉陵江组、雷口坡组、须家河组,侏罗系的珍珠冲组、自流井组、新田沟组、沙溪庙组、遂宁组、蓬莱镇组,第四系地层。各地层岩性特征依新老顺序简述如下:

2.1.1 第四系

重庆主城区第四系地层广泛分布,主要为沿长江、嘉陵江及其支流御临河、五步河、箭滩河等河谷两岸断续零星分布的河流冲积层、洪冲积层、冲积漫滩,广泛分布的坡积、残坡积层及零星分布的崩坡积和人工堆积层。

(1) 全新统 (Q_4)

人工堆积层 (Q_4^{pl}): 人工堆积比较零星。杂填土,一般是由城市生活垃圾和厂矿的工业废渣组成,物质成分比较复杂,多分布于工厂及居民生活区附近;素填土,主要是城市建设切坡或平整场地开挖出来的岩块、碎石土,成分相对单一;在城市建成区广泛分布,厚度1~5m,个别填方场地厚达几十米。

河漫滩冲积层 (Q_4^{al}): 主要沿长江、嘉陵江河谷断续分布,在河床开阔宽缓或蜿蜒地带,形成砂洲、河漫滩,一般分布在高出现代江水面0~12m,多为未胶结的泥砂、砾石。砾石成分复杂,由火成岩、沉积岩、变质岩类组成,呈椭圆状、扁平状,大小不一;沙洲表层往往有很薄的紫红色黏土,砂为中、细砂,砂层中有层次和流水交错层纹。

河漫滩洪冲积层 (Q_4^{pl}): 主要分布于长江、嘉陵江各支流的沿岸以及宽缓向斜地带,两江漫滩多由细砂和卵石层组成。为灰褐色、褐红色粉质黏土、粉砂土,并含有小于10mm的砾石,厚度一般3~5m,个别地段厚度超过20m,现多被耕作农田。

坡洪积层 (Q_4^{al+pl}): 主要分布在背斜槽谷地带,多为褐色、黄色、褐红色、灰黑色黏土、砂质黏土,并含有大小不等的碎石,厚度一般为2~6m。

坡积层 (Q_4^{dl}): 主要分布在坡脚,多呈带状分布,为黄褐色、紫红色砂、黏土、碎石等,碎石大小不等,其物质成分与斜坡上的基岩相关,厚度不一,最大厚度可达10m以上。

崩坡积层 (Q_4^{col}): 主要分布于台地的台缘、高陡边坡的坡脚,为岩块、碎石、砂土等,物质成分与台平、坡肩的基岩相关,一般为厚层砂岩,局部最大厚度可达40m。

残坡积层 (Q_4^{dl+pl}): 广泛分布于宽缓向斜丘陵区,多为紫红色粉质黏土,次为黄褐色砂土、粉砂土,并含有大小不等的碎石,粒径一般在10cm以下,厚度一般为1~5m;背斜区的残坡积层主要为褐黄色、紫红色的砂土、黏土、粉质黏土、粉土,并含有大小不等的碎石,厚度一般小于2m。

(2) 上更新统 (Q_3)

主要为Ⅰ级阶地,断续零星分布于长江、嘉陵江沿岸,海拔标高一般180~205m,阶面高出江水面一般20~35m;沉积物具有二元结构,下部为砾石层,厚4~5m,上部为姜黄色砂黏土层,厚度15~20m;如江北砾岩层度0~15m。

(3) 中更新统 (Q_2)

主要为Ⅱ级阶地,断续零星分布于长江、嘉陵江两岸,如广阳坝、中坝;阶面开阔平坦,阶坡陡峻,眉峰清晰,沿河流流向呈长条状展布,海拔标高一般190~215m,阶面高出河流枯水面30~45m,多为基座阶地,亦有内叠阶地和侵蚀阶地。

(4) 下更新统 (Q_1)

多为主城区内最高一级阶地,断续零星分布于长江、嘉陵江两岸,沉积物具有夷平面特征,残厚1~15m,坡积高度海拔标高325.000~410.000m,距河流枯水面约155~209m。岩性为卵砾石夹砂黏土,其次为石英、燧石等,多呈扁平状、椭圆状,有菱形光滑面,偶见擦痕。

2.1.2 侏罗系

侏罗系遍布重庆主城区范围,主要分布于向斜之中及背斜的两翼,现根据岩性、岩相、沉积回旋和古生物特征,由新至老划分为上统蓬莱镇组、遂宁组,中统上沙溪庙组、下沙溪庙组、新田沟组,中下统自流井组,下统珍珠冲组,现分述如下:

(1) 蓬莱镇组 (J_3p)

该组厚度大于150m,分布于主城区的中南部,在主向斜的轴部零星呈片状分布,为炎热氧化环境河—湖相红色碎屑岩建造。岩性以紫红色泥岩为主,夹灰白色、浅灰黄色中至厚层块状细至中粒长石石英砂岩、钙质长石石英砂岩,或砂岩与紫红色钙质泥岩、粉砂质钙质泥岩组成不等厚互层,并夹有少量不稳定的钙泥质细砂岩、粉砂岩、水云母黏土岩。层厚而稳定,水平层理和斜交层理均比较发育,与下伏的遂宁组整合接触,界面凹凸不平,具有冲刷现象。

(2) 遂宁组 (J_3sn)

该组厚度约268~469m,分布于主城区的南部,在主向斜的核部或近轴部,为热燥氧化环境河—湖相红色碎屑岩建造。岩性以砖红色、鲜红色泥岩为主,偶夹浅灰白色、紫红色长石石英砂岩。上部夹绿灰色水云母黏土岩,底部为灰色或砖红色长石石英砂岩,其下常出现透镜状钙质角砾岩。与下部的上沙溪庙组整合接触,接触面清楚,局部地方界面波状起伏或具冲刷现象。该组以沉积物细、色泽鲜艳为特征;泥岩呈层性差,风化后具鳞片状,层理不清,砂岩、粉砂岩底部常见微细交错层理构造。

(3) 上沙溪庙组 (J_2s)

该组厚度约998~1294m,广泛分布于向斜中,为一套强氧化环境下的河湖相碎屑岩建造。与下伏的下沙溪庙组整合接触,本组岩性岩相、厚度变化虽大,但总的沉积环境没变,砂、泥岩沉积不连续,反映沉积过程中,局部地区有波状起伏。按其岩性组合特征,由上而下可分为以下几个岩性段。

猫儿咀砂岩段:为灰色、褐灰色、紫灰色中粗粒厚层块状长石砂岩、岩屑长石砂岩、长石石英砂岩,偶夹紫红色粉砂质泥岩、粉砂岩。

柏树堡泥岩段：为紫红色、棕红色泥岩夹紫灰红色、灰色、黄褐色砂岩、粉砂岩、细砂岩。该段由 5~10 个砂岩—泥岩不等厚正向沉积韵律组成。

鹅岭砂岩段：为灰色、紫灰色、褐黄色中—厚层块状中—粗粒长石石英砂岩、长石砂岩、岩屑长石砂岩夹紫红色泥岩、钙质砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩薄层。

李子坝泥岩段：为一套紫红色泥岩、砂质泥岩、钙质泥岩、钙质粉砂质泥岩，夹灰色、紫灰色中—厚层块状中粒长石砂岩、长石石英砂岩 3~4 层。

嘉祥寨砂岩段：为青灰色、褐黄色厚层块状中粗粒长石石英砂岩、长石砂岩、岩屑长石砂岩，与紫红色厚层泥岩、砂质钙质泥岩组成不等层 2~4 个沉积旋回，砂岩体厚 15~60m。底部为一巨厚层砂岩，厚 10~40m，为黄灰色、浅黄色长石石英砂岩、岩屑长石砂岩。

(4) 下沙溪庙组 (J_2xs)

该组厚度约 200~363m，主要分布于向斜的两翼，呈带状分布，为一套强氧化环境下的河湖相碎屑岩建造。与下伏的新田沟组呈假整合接触，顶部岩性为叶肢介页岩，灰绿、黄绿、灰黑色页岩。以质地细腻，富含叶肢介为特征，为区域性标志层。中部以紫红色、暗紫红色泥岩、粉砂质钙质泥岩为主，夹黄灰色中—厚层块状中—粗粒长石砂岩、长石石英砂岩、岩屑长石砂岩，砂岩多呈似层状透镜体，常见分叉、合并、尖灭和再现的现象。底部为关口砂岩，黄灰色厚层中粗粒长石石英砂岩或岩屑长石砂岩，底部常见泥砾。

(5) 新田沟组 (J_2x)

该组厚度约 114~223m，主要分布于背斜的两翼，呈条带状展布，为一套还原—氧化环境下的淡水湖相杂色碎屑岩建造。与下伏的自流井组呈假整合接触，该组可见缓波状斜层理及近对称波痕，砂质泥岩中有断续微波状纹层、水平纹层。上杂色段以黄绿色泥岩为主，夹紫红色砂质泥岩、粉砂岩、细砂岩；其次为绿色段，黄绿色砂质泥岩夹粉砂岩、石英细砂岩；黑色段，深灰色页岩，夹石英粗砂岩、石英细砂岩，偶夹介壳灰岩的透镜体；下杂色段，紫红色夹黄绿色泥岩，下部为黄色石英细砂岩、细—中粒砂岩。底部为灰绿色、灰色含砾砂或灰质角砾岩，风化层呈孔洞状。

(6) 自流井组 ($J_{1-2}z$)

该组厚度约 172~312m，主要分布于背斜的两翼及倾末端，呈条带展布，为一套浅水湖相泥岩及半深水湖相碳酸盐岩建造。与下伏的珍珠冲组呈整合接触，上部为大安寨段，紫红色钙质泥岩、粉砂质泥岩，黄灰色碎屑灰岩及生物灰岩。夹深灰色、灰绿色页岩、泥灰岩、白云岩薄层。中部为马鞍山段，紫红色泥岩、粉砂质泥岩、钙质泥岩，夹黄灰、浅灰色薄—中厚层细粒石英砂岩、粉砂岩。下部是东岳庙段，中间岩性为黑灰色页岩，夹黄灰色薄—中厚层状介壳灰岩、泥质灰岩、介壳含铁结核粉砂岩，顶部、底部为灰绿色、黄灰色、褐灰色砂质泥岩、粉砂质钙质泥岩。

(7) 珍珠冲组 (J_1z)

该组厚度约 145~269m，主要分布于背斜的两翼，呈条带展布，为一套浅水湖相碎屑岩建造。与下伏的须家河组呈假整合接触，本组显示了河流相向湖相转变的特征，在水动力条件上与须家河组比较，亦发生了强度及流向改变，形成纯度很高的石英砂岩。上部岩性为泥岩段，紫红色、灰绿色、黄灰色等杂色泥岩、砂质泥岩夹少量浅灰色、黄灰色薄—

中厚层状细—中粒石英砂岩及石英粉砂岩、粉砂岩、页岩。下部岩性为砂岩段，硅石、綦江式铁矿。灰、浅灰、灰黄色中厚层—厚层细—中粒石英砂岩，含铁石英砂岩夹砂质泥岩、粉砂岩；或为灰绿、浅灰、紫红、紫灰色中—厚层状细—中粒石英砂岩与含铁细砂质水云母黏土岩呈不等厚层。

2.1.3 三叠系

三叠系分布于各背斜的轴部及其两翼，由新至老划分为上统须家河组，中统雷口坡组，下统嘉陵江组、飞仙关组；其中上统为内陆湖—河沼泽相碎屑含煤建造，中下统主要为浅海相碳酸盐岩、碎屑岩建造，地层总厚约 1401~1821m。现分述如下：

(1) 须家河组 (T_3xj)

该组厚度约 387~533m，主要分布于主背斜的两翼，其次为背斜的轴部，为内陆湖—河沼泽相碎屑含煤建造。与下伏的中统雷口坡组呈假整合接触，本组可分为六段，其矿产以煤为主，一、三、五段含煤层，仅局部可采，其次是六段的石英砂岩。

六段：灰白色、黄褐色厚层块状中—粗粒长石石英砂岩、长石岩屑砂岩、岩屑石英砂岩，夹砂质页岩、粉砂岩薄层。

五段：灰色、深灰色薄—中厚层细—中粒长石石英砂岩、泥岩、砂质泥岩夹薄层粉砂岩、炭质页岩、薄煤层或煤线，含菱铁矿结核、植物碎屑，偶见泥晶灰岩透镜体。

四段：浅灰、灰黄色厚层块状中粒长石石英砂岩、长石砂岩、岩屑石英砂岩，夹粉砂岩、页岩，底部偶见砾岩透镜体。砂岩中含黄铁矿晶粒，粉砂岩偶见菱铁矿结核。

三段：灰色、深灰色泥岩、砂质泥岩、页岩、薄—中厚层细—中粒长石石英砂岩。上部夹炭质页岩、薄煤层及煤线，局部可采煤 1~2 层。底部偶见一层砾岩。

二段：浅灰色、灰黄色厚层块状细—中粒长石石英砂岩、岩屑长石砂岩、岩屑石英砂岩。上部夹粉砂岩、砂质页岩。

一段：灰、深灰色砂质泥岩、页岩，或为灰、灰黄色薄—中厚层细—中粒长石石英砂岩。上部夹粉砂岩；下部夹炭质页岩、薄煤层及煤线。局部可采煤 1~2 层。底部偶见一层砾岩，厚 0.3~2.5m。

(2) 雷口坡组 (T_2l)

该组厚度约 33~99m，主要分布于背斜的两翼，多呈线状分布，为一套浅海台地泻湖相含镁碳酸盐岩建造。与下伏的嘉陵江组呈整合接触，该组底部有一层水云母黏土岩，俗称“绿豆岩”，内具豆状硅质粒，顶部顶底部为薄的硅质层，在区域上稳定产出，为中、下三叠系分界的良好标志层。岩性为灰、褐灰色中厚层块状白云岩、白云质灰岩，夹泥质灰岩、页岩、盐溶角砾岩；底部“绿豆岩”（水云母黏土岩），呈绿色、蓝绿色、黄绿色，为火山喷发物质沉积形成，是区内主要含钾岩石；白云岩断口多呈乳白色，贝壳状、微—细晶结构，风化面溶蚀。

(3) 嘉陵江组 (T_1j)

该组厚度约 515~642m，主要分布于背斜的轴部或近轴部，与下伏的飞仙关组呈整合接触，该组可分为四段，一、三段为浅海开阔台地相碳酸盐岩建造，二、四段为浅海台地泻湖相含镁碳酸盐岩建造，岩性岩相稳定，生物化石以瓣鳃类为主，总的组合面貌显示了早三叠系特色。

四段：浅灰色、黄灰色、灰色中厚层块状微晶白云岩、白云质灰岩，夹盐溶角砾岩及灰岩。风化面见刀砍状溶蚀沟。白云岩、白云质灰岩层理不太发育，单层厚度数十厘米～1m，层面平直，风化面具刀砍状溶蚀沟。灰岩具斜层理，层厚15cm左右，鲕状灰岩表面具刀砍状溶蚀沟。普遍含石膏，地表为膏溶角砾岩。

三段：灰色、黄灰色中厚层微晶灰岩。夹泥岩、白云质泥晶灰岩，生物碎屑灰岩，角砾状灰岩及亮晶鲕状灰岩，并夹有少量的薄层泥质白云岩、钙质泥岩。

二段：灰色、浅灰色中厚层—厚层块状白云岩，夹泥质灰岩、白云质灰岩、灰岩及盐溶角砾岩。在该段的中下部有一层粉砂质钙质泥岩。白云岩呈隐晶、粉晶、细晶结构，含硅质、钙质，表面具见刀砍状溶蚀沟。灰岩含硅质、白云质泥晶灰岩，局部泥质含量较重，具花斑状、条带状构造。本段沉积于潮间—潮下上部环境，潮上交代形成白云岩、硬石膏。

一段：青灰、灰、浅灰、褐灰色薄—中厚层块状微晶灰岩、泥质灰岩，夹生物碎屑灰岩、鲕状灰岩及白云质灰岩。灰岩层理发育，层面平直，见有斑纹状、砂砾屑条带，层纹状构造，单层厚度10cm左右。

(4) 飞仙关组 (T_1f)

该组厚度约466～547m，主要分布于背斜的核部或翼部，或在背斜的高点小面积的出露，为浅海陆棚相碎屑岩与碳酸盐岩交替建造，与下伏的长兴组呈整合接触。根据岩性岩相与古生物特征，由新至老可分为四段，由北向南地层稍有增厚。

四段：紫红色、棕红色、黄绿色粉砂质泥灰岩、泥岩、页岩，夹泥质灰岩、泥晶砂质灰岩，球状风化。

三段：灰、深灰、灰黄色薄—中厚层块状灰岩、泥质灰岩，夹泥灰岩、鲕状灰岩（鲕粒脱落后显针孔构造）及生物灰岩的透镜体。

二段：紫灰、黄绿、紫红色钙质泥岩、页岩夹紫红色、灰色泥灰岩、鲕状灰岩。由下而上紫色色调减弱，泥、页岩减少，至上部以生物灰岩、泥灰岩为主。

一段：灰、紫灰、黄绿、暗紫色中厚层微晶泥质灰岩、泥灰岩。间夹页岩、粉砂岩、粉砂质钙质泥岩。

2.1.4 二叠系长兴组 (P_2c)

厚度约99～104m，主要分布于中梁山北部及观音峡背斜核部，为台地边缘生物礁相碳酸盐岩建造，与下伏的龙潭组呈整合接触。本组由下而上，硅质储量逐渐递增，燧石结核的大小及数量皆有增加的趋势，且白云岩储量也随之增多，在区域上主要表现为南北向的厚度变化比较大。岩性为燧石灰岩，棕灰、灰、深灰色中厚层—块状灰岩、泥质灰岩夹生物灰岩、白云质灰岩，含燧石结核及团块；底部深灰色泥质灰岩夹黏土岩；顶部为灰色含白云质、硅质、泥质灰岩与同色黏土岩呈不等厚互层。

2.2 地质构造

重庆市主城区位于川东南弧形地带、华蓥山帚状褶皱束，背斜紧凑狭窄，向斜开阔平缓。区内构造以背斜为主要形式，背斜轴线一般与山脉轴部近一致，主要特点是背斜褶皱