

广东抽水蓄能电站工程

地质创新与研究

主 编 陈云长

副主编 吴国荣 廖品忠 王汇明



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

广东抽水蓄能电站工程

地质创新与研究

主 编 陈云长

副主编 吴国荣 廖品忠 王汇明



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书总结和提炼了广东抽水蓄能电站工程地质创新与实践的成果。全书共 12 章, 内容包括: 区域构造稳定性与地震研究, 长探洞及深孔绳索取芯勘探技术研究, 工程岩体的物理力学特性研究, 地下洞室围岩分类方法及参数取值研究, 隧洞外水压力影响因素与取值方法, 站址选择关键技术研究, 水库主要工程地质问题研究, 高压隧洞山体与围岩稳定性研究, 地下厂房洞室群位置选择研究, 基于 DSI 的地质三维建模技术与应用, 地下厂房洞室群围岩稳定三维数值分析, 特殊工程地质问题研究等, 具有较高的理论和实践指导价值。

本书可供从事水利水电工程尤其是抽水蓄能电站工程地质勘察的技术人员以及设计、施工等专业技术人员参考, 也可供大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

广东抽水蓄能电站工程地质创新与研究 / 陈云长主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016. 11
ISBN 978-7-5170-4930-2

I. ①广… II. ①陈… III. ①抽水蓄能水电站—工程地质—研究—广东 IV. ①TV743

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第294131号

书 名	广东抽水蓄能电站工程地质创新与研究 GUANGDONG CHOUSHUI XUNENG DIANZHAN GONGCHENG
作 者	DIZHI CHUANGXIN YU YANJIU 主编 陈云长 副主编 吴国荣 廖品忠 王汇明
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 18.5 印张 439 千字
版 次	2016 年 11 月第 1 版 2016 年 11 月第 1 次印刷
印 数	0001—1500 册
定 价	95.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

本书编委会

名誉主任 黄建添

主 任 陈云长

副主任 滕 军 刘林军

委 员 曾庚运 黄立财 王汇明 高 飞 张国平

郑悦华 黄 勇 徐知秋 李国瑞 吴林波

何文才 廖品忠 郑国权 杨 波 王 盛

本书编著者名单

主 编 陈云长

副主编 吴国荣 廖品忠 王汇明

章 名	节 名	编著者
第 1 章 区域构造稳定性与地震研究		廖品忠 王殿春
第 2 章 长探洞及深孔绳索取芯勘探技术研究	2.1 地下厂房洞室群长探洞勘察研究	吴国荣
	2.2 深孔勘探绳索取芯技术	陈小烽 魏炳荣
第 3 章 工程岩体的物理力学特性研究		吴国荣
第 4 章 地下洞室围岩分类方法及参数取值研究		杨 磊
第 5 章 隧洞外水压力影响因素与取值方法		陈云长 吴国荣
第 6 章 站址选择关键技术研究		王汇明 杨 磊
第 7 章 水库主要工程地质问题研究		王殿春
第 8 章 高压隧洞山体与围岩稳定性研究		王著杰
第 9 章 地下厂房洞室群位置选择研究	9.1 地下厂房区的工程地质勘察方法	陈云长 杨 磊
	9.2 地下厂房洞室群的位置及轴向选择原则	
	9.3 惠州抽水蓄能电站地下洞室群优化布置	陈云长 吴国荣
	9.4 地下厂房洞室群布设综合评价与总结	陈云长 杨 磊
	9.5 小结	
第 10 章 基于 DSI 的地质三维建模技术与应用		朱焕春 陈云长
第 11 章 地下厂房洞室群围岩稳定三维数值分析		吴国荣 陈云长
第 12 章 特殊工程地质问题研究	12.1 广州抽水蓄能电站花岗岩黏土化蚀变问题研究	陈云长 魏炳荣
	12.2 惠州抽水蓄能电站场区控制性断层勘察研究	吴国荣
	12.3 惠州抽水蓄能电站复杂条件下高压隧洞灌浆处理研究	

序

我国抽水蓄能电站的建设总体起步较晚，但广东在抽水蓄能电站的勘察设计和建设管理等方面一直处于国内前列。

早在 20 世纪 70 年代，为了大亚湾核电站安全满负荷运行，在国家能源电力主管部门和领导的关心支持下，广东省电力工业局携手香港中华电力公司研究在广东境内兴建抽水蓄能电站的可行性。1984 年开始筹划并开展广州抽水蓄能电站前期勘察设计公司，1988 年 8 月一期工程开工至 2000 年 3 月二期工程完工，8 台机组装机容量 2400MW 全部并网发电，目前依然是世界上装机规模最大的抽水蓄能电站之一。广州抽水蓄能电站的勘察设计与建设充满了创新精神，表现在选点正确、布置合理，各重要部位均采用了当代先进新技术，并有所发展和完善。如混凝土面板堆石坝、岩壁吊车梁、高水头机组蜗壳加压预埋、洞室群的优化布置、高压长斜井和高压钢筋混凝土岔管、500kV 高落差充油电缆、大型蓄能机组选型和计算机监控等，工程达到了国际先进水平。特别是在结构极为复杂的高压岔管工程中，国内首次成功采用了钢筋混凝土结构，是高压输水管道工程的一项重大突破，对我国地下结构设计中充分利用和发挥围岩承载力方面有重大进展，为设计理论和方法的发展取得了重要实践经验，在类似条件下有广泛的推广应用前景。

继广州抽水蓄能电站之后，广东省水利电力勘测设计研究院又相继承担了惠州抽水蓄能电站（2400MW）、清远抽水蓄能电站（1280MW）、深圳抽水蓄能电站（1200MW）和阳江抽水蓄能电站（2400MW）等项目的勘测设计工作，有效地解决了一系列复杂的技术难题，取得了很多重大的成果，获得过多项国家级奖励，锻炼和培养了一批专家。上述几座抽水蓄能电站的净水头都在 480~700m，对高压隧洞和高压岔管，均采用了限裂透水理念设计和钢筋混凝土衬砌，其设计理念先进，既节省了投资，又缩短了工期。

抽水蓄能电站工程对地质条件有相当高的要求，尤其是地下厂房及高压岔管等地下洞室群的合理布置，保证围岩稳定是整个工程安全和成败关键。广东省水利电力勘测设计研究院在这方面摸索并积累了丰富经验，并在实践中验证行之有效。主要亮点有：推荐并正确地选择站址，选择低地震烈度区及地壳稳定性较好的区域；枢纽布置上有效地避开不利地质构造及其组合，

将地下厂房洞室群和高压隧洞特别是高压岔管布置于岩体完整性好的地质块体中，实现了大跨度地下厂房采用喷锚作为永久支护和岩壁吊车梁技术；高压隧洞及高压岔管采用钢筋混凝土衬砌新技术。认识自然，利用自然，将客观存在的不利影响降低到最低，这是工程技术人员应该遵循的规律。

《广东抽水蓄能电站工程地质创新与研究》一书虽侧重于资料的汇集和重大成果的总结和提炼，但众所周知，工程地质勘察是一门探索性与实践性很强的学科，涉及范围广，耗时长，所以，不断系统地总结经验，寻找规律，吸取教训，是提高水平、锻炼队伍、培养人才最有效的方法。作者将几十年工作积累资料和经验编写成书，既是对前人工作的尊重和肯定，也是对后来者非常重要的启迪。我相信，本书的编写出版，将有力地推进我国抽水蓄能电站建设中相关工程地质工作的进步和发展。

是为序。

中国工程院院士

罗珩基

2016年9月于广州

前言

由广东省水利电力勘测设计研究院（以下简称广东省院）负责勘察设计和已经投产运营的抽水蓄能电站有广州抽水蓄能电站、惠州抽水蓄能电站和清远抽水蓄能电站 3 座电站，投产装机容量共 6080MW；正在建设施工的深圳抽水蓄能电站和阳江抽水蓄能电站装机容量共 3600MW。广东省抽水蓄能电站勘察设计公司最早开始于 20 世纪 70 年代，由当时的广东省电力局牵头与香港中华电力公司组成广电与中电联营蓄能电站可行性研究工作联合办公室，并委托广东省院开展勘察设计公司，在深圳市盐田附近选择了站址并开展勘察工作，但该项目由于各种原因被搁置。党的十一届三中全会后，广东经济发展迅猛，电网规模和用电负荷迅速增长，峰谷差逐渐增大，而在广东省境内可以承担调峰任务的已建或待建的大中型水电站站点很少，因此需要建设抽水蓄能电站以解决调峰问题。为此，1984 年 10 月，为配合大亚湾核电站的建设与安全满负荷的运行，广东省院开始了广州抽水蓄能电站的勘察设计公司。广州抽水蓄能电站一期工程 4 台 300MW 机组于 1994 年 3 月全部建成投产发电，是国内最早建成的大型抽水蓄能电站，一直安全运行至今，为大亚湾核电站、广东和香港电网安全运行发挥了巨大效益。

抽水蓄能电站与常规水电站相比，对工程地质条件的要求上有共同点，但也有其特殊性。例如：由于上、下水库的水位频繁变动，消落深度大，对库岸稳定要求高；水库集雨面积小，尤其上水库，水源宝贵，水库的防渗要求更高；抽水蓄能电站一般是高水头发电站，引水隧洞内水压力高，大跨度高边墙地下厂房，对洞室群围岩强度、稳定性、抗渗性要求高。因此，除常规的勘察方法和手段外，还需进行特殊的勘测和试验。广州抽水蓄能电站是在我国没有针对该类电站勘察规范及勘察经验的条件下展开的。从广州抽水蓄能电站工作开始探索、实践，到惠州抽水蓄能电站工程、清远抽水蓄能电站工程和深圳抽水蓄能电站等工程的提高完善，形成了广东省院一套抽水蓄能电站勘察分析方法。在几座抽水蓄能电站的勘察中，广东省院的勘察技术人员积累了丰富的勘察成果及经验。编写出版本书的主要目的在于对勘察成果经验的归纳总结，使之能继续服务于抽水蓄能电站的工程建设。

本书共 12 章，主要内容包括：区域构造背景及构造稳定性研究；抽水蓄

能电站关键地质问题研究,包括工程岩体特性、地下工程围岩分类方法及参数取值、深埋高压隧洞外水压力、站址选择、水库主要工程地质问题、高压隧洞山体与围岩稳定、地下厂房洞室群位置选择、三维地质建模技术;特殊工程地质问题研究如花岗岩黏土岩化蚀变岩、场区控制性断层勘察、复杂水文地质条件下高压隧洞灌浆处理等。广东省院在参与上述工程勘察设计与建设过程中,曾遇到过各种不同类型而十分棘手的设计与地质问题,给地质勘察提出了很高要求与期待。在国内没有任何经验可循情况下,广东省院的工程技术人员通过研发与创新,不仅创造性地解决了众多复杂技术难题,还丰富和积累了理论基础与宝贵工程经验,多个单项技术达到国际先进水平。如地下厂房区长探洞勘探布置及分析技术、深钻孔绳索取芯钻探技术、高压压水试验技术、解除法地应力测量技术和三维地质建模技术等。

在勘察过程中,广东省院与相关高校及科研单位联合开展了专题研究工作,相关成果也尽量纳入本书中。包括河海大学地球科学与工程学院周志芳教授、中山大学地球科学系陈国能教授、水利部长江水利委员会长江科学院邬爱清教授级高级工程师及尹健民教授级高级工程师、Itasca(武汉)咨询有限公司朱焕春教授等。

中国工程院院士罗绍基先生是我国水电工程抽水蓄能技术领域的先行者,从主持建设世界上最大的抽水蓄能水电站——广州抽水蓄能电站开始,一直高度重视勘察设计与工作,关心广东省院的技术进步及发展,提出了很多宝贵的指导意见,并为本书写序。本书在编写过程中,除得到长江科学院邬爱清教授级高级工程师、尹建民教授级高级工程师、蒋昱州博士等的大力帮助外,还得到其他许多同志的大力支持,在此,表示衷心的感谢!

限于编者的水平有限和经验不足,疏漏及错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2016年9月

目录

序

前言

第1章 区域构造稳定性与地震研究	1
1.1 区域地质背景	1
1.2 断裂活动性研究	10
1.3 地震活动特征研究	14
1.4 地震动参数与区域稳定性评价	17
第2章 长探洞及深孔绳索取芯勘探技术研究	24
2.1 地下厂房洞室群长探洞勘察研究	24
2.2 深孔勘探绳索取芯技术	33
第3章 工程岩体的物理力学特性研究	41
3.1 岩石物理力学特性试验研究	41
3.2 岩体力学特性试验研究	52
3.3 隧洞围岩高压渗透特性研究	61
3.4 工程岩体初始地应力场测试与分析	67
3.5 小结	83
第4章 地下洞室围岩分类方法及参数取值研究	84
4.1 国内外常用的岩体分类方法	84
4.2 广州抽水蓄能电站围岩分类方法与参数取值	94
4.3 抽水蓄能电站围岩分类方法应用与推广	102
4.4 小结	104
第5章 隧洞外水压力影响因素与取值方法	105
5.1 外水压力取值方法	105
5.2 外水压力的影响因素	109
5.3 广东抽水蓄能电站隧洞外水压力特征研究	110
5.4 小结	131
第6章 站址选择关键技术研究	132
6.1 站址选择基本原则	132
6.2 广东抽水蓄能电站站址选点概况	132
6.3 广东抽水蓄能电站站址选择	134

第 7 章 水库主要工程地质问题研究 142

7.1 水库渗漏勘测技术与处理方法研究 142

7.2 库岸边坡稳定性及加固措施 156

第 8 章 高压隧洞山体与围岩稳定性研究 168

8.1 区域构造稳定性分析 168

8.2 高压隧洞抗抬稳定分析 170

8.3 高压隧洞围岩水力劈裂分析 177

8.4 围岩质量与渗透特性判别准则 179

8.5 高压隧洞稳定性分析理论与实践与推广 181

8.6 小结 181

第 9 章 地下厂房洞室群位置选择研究 183

9.1 地下厂房区的工程地质勘察方法 183

9.2 地下厂房洞室群的位置及轴向选择原则 186

9.3 惠州抽水蓄能电站地下洞室群优化布置 187

9.4 地下厂房洞室群布设综合评价与总结 191

9.5 小结 193

第 10 章 基于 DSI 的地质三维建模技术与应用 194

10.1 三维地质建模技术的发展概况 194

10.2 DSI 原理与技术 196

10.3 基于 DSI 原理的三维地质建模系统 198

10.4 惠州抽水蓄能电站地下厂房三维建模 204

10.5 惠州抽水蓄能电站三维可视化安全监测预警系统研究 207

10.6 三维地质建模技术与数值分析方法交互应用研究 210

10.7 小结 213

第 11 章 地下厂房洞室群围岩稳定三维数值分析 214

11.1 数值分析方法 215

11.2 数值方法应用原则 219

11.3 基于 FLAC 的惠州抽水蓄能电站地下厂房围岩稳定分析 223

11.4 基于 3DEC 的深蓄地下厂房围岩稳定分析 228

11.5 刚度取值反演与围岩安全性评价 233

11.6 小结 240

第 12 章 特殊工程地质问题研究 241

12.1 广州抽水蓄能电站花岗岩黏土化蚀变问题研究 241

12.2 惠州抽水蓄能电站场区控制性断层勘察研究 257

12.3 惠州抽水蓄能电站复杂条件下高压隧洞灌浆处理研究 274

参考文献 283

第 1 章 区域构造稳定性与地震研究

广东省抽水蓄能电站已建、在建和备建的站点,大致围绕着珠江三角洲分布在广东地势较高的地区。这些电站的工程稳定性除了决定于其工程地质条件外,还与地质构造环境和地震活动性密切相关。区域构造稳定性问题,是广东抽水蓄能电站工程地质研究的重要内容之一。依据抽水蓄能电站选址原则,应避开活动断裂和强震发震部位。因此,首先必须研究一定范围的区域地质构造与地震活动特征及其对站址的影响。就地质构造环境而言,电站站址取决于所在大地构造位置,地壳深处的重磁场及深部构造特征,新构造运动活动程度,以及断裂的规模、性质及其活动性。因此,本章就区域地质构造背景、工程场区断裂活动性和地震活动这几方面进行研究,以综合评价广东抽水蓄能电站的区域构造稳定性。

1.1 区域地质背景

1.1.1 区域地形地貌特征

广东省位于我国的东南沿海地带,地处亚洲大陆东南缘与太平洋壳块之间的扭动带内。广东陆地的地势大体是北高南低,地形复杂,有山地、丘陵、台地以及平原,其中以山地和丘陵为主。山地主要分布于粤北、粤东和粤西,多呈北东-西南走向。粤北的山地主要有大庾岭、骑田岭、滑石山、瑶山、大东山、连山,海拔高度一般为 800.00~1100.00m,最高为乳源的石坑崆,海拔 1902.00m,为广东的最高峰。粤东的山地主要有莲花山、罗浮山和九连山,海拔高度一般为 800.00~1000.00m。粤西的山地主要有天雾山、云雾山和云开大山,最高峰分别为海拔 1250.00m、1140.00m、1704.00m。广东的丘陵大都分布在山地周围,或零星散落于沿海平原与台地上,海拔高度一般为 200.00~500.00m。南雄、仁化、连州、兴宁、梅县、五华、龙川、河源、平远、紫金、罗定等地都广泛分布着丘陵。台地海拔高度在 200.00m 以内,主要分布在粤西的湛江市、茂名市,粤东的海丰、陆丰、惠来南部和粤中一部分地区,尤以高州、电白以西最为普遍,雷州半岛基本上是玄武岩构成的台地。平原可分河谷冲积平原和三角洲平原。河谷冲积平原在各大河流沿岸均有断续分布,较大的如北江的英德平原,东江的惠阳平原,粤东的榕江平原、练江平原,粤中的潭江平原,粤西的鉴江平原、漠阳江平原和九洲江平原。三角洲平原主要有珠江三角洲平原和韩江三角洲平原。

地壳厚度北厚南薄,北部一带莫霍面埋深约为 35km,往南至海边约 33km,至大陆架区不足 20km,康拉德界面也有类似变化趋势。显然,广东地区处在东亚大陆边缘地壳减薄带。



1.1.2 区域地层岩性特征

广东省的最老地层上溯至震旦系,省内沉积有自震旦纪以来各地质时代的地层。按沉积特点及其形成的大地构造环境,大致可划分成以下三套。

震旦纪至志留纪沉积是一套厚18~20km的类复理石碎屑沉积,夹火山岩(含海底火山岩)的地槽型沉积建造。早古生代末地槽封闭褶皱上升,岩层普遍发生区域变质,形成一套浅变质岩系。部分地区花岗岩化、混合岩化现象也相当显著。它们是在以活动因素占主导的大地构造环境下生成的地槽区沉积建造组合。

泥盆纪至中三叠世,沉积一套以海陆交互相、浅海相为主的陆缘碎屑岩、砂页岩、灰岩。岩性岩相虽有差异,但总体上仍属稳定,多呈面状分布,碳酸盐岩所占比例很高,整套岩层均未变质。显然它们是一套在以“稳定”因素占主导的大地构造环境下形成的地台型沉积建造组合。此套沉积以盖层形式角度不整合覆盖前期沉积层之上。

晚三叠世至第四纪沉积,主要是一套巨厚的上叠性断、拗陷盆地沉积,北部陆区沉积了一套陆相粗屑类磨拉石建造及中酸的类复理石碎屑建造为主,中酸性火山岩建造;南部北缘大陆架断陷内,则形成了海相砂页岩、泥质岩、礁灰岩建造。此套沉积往往零星分布,严格受控于断陷盆地内,岩性复杂,厚度变化甚大。它们是在地壳强烈活化,构造反差和地貌反差甚大的环境下形成的,属地洼型沉积建造组合。它们构成了广东省地壳最上部的上叠盆地式沉积层。由断陷盆地沉积和火山岩组成了上构造层。它既不同于地槽型建造组合,也不同于地台型建造组合,是一类新的沉积建造组合,有些资料上称之为地洼型建造组合。

广东省地处南岭之中段,为著名的“南岭花岗岩”之所在。在漫长的地质发展过程中,强烈的地壳运动和断裂活动,为广泛的岩浆活动创造了极为有利的条件,形成了遍布全省的各种类型、规模不等的侵入体及火山岩体。

自震旦纪至第四纪曾发生过25个岩浆喷发旋回和9期岩浆侵入活动。火山岩出露面积达14800km²,火山岩累计厚度10683m。在北部陆区,侵入岩出露面积占陆地总面积的1/3,大小侵入岩体207个,其中加里东期9个,华力西期19个,印支期21个,燕山一期8个,燕山二期20个,燕山三期50个,燕山四期50个,燕山五期24个,喜马拉雅期6个。依岩浆活动特点及其与构造运动的关系,分成4个构造岩浆活动旋回,即加里东旋回、华力西印支旋回、燕山旋回和喜马拉雅旋回。其中以燕山旋回的岩浆活动规模最大、最强烈。岩浆沿一些深大断裂带侵入或喷溢,形成多条规模巨大的构造岩浆带或构造火山活动带。

广东的岩浆活动多受大地构造环境控制,不同的大地构造环境有不同特点的岩浆活动。活动区(地洼区、地槽区)岩浆活动最强烈,其中地洼区又以中酸性岩浆活动占优势为其特色。相对稳定的地台区则岩浆活动相对微弱,仅在地台周缘或基底深部大断裂带内有分布。

广东省的变质岩相当发育。仅区域变质岩、混合岩、混合岩化花岗岩出露面积就占陆地总面积的1/3。

1.1.3 区域构造类型与发育特征

广东省濒临太平洋,地壳活动频繁而强烈。在地质历史发展过程中,由于历次构造运



动的叠加和干扰,构成一幅错综复杂的构造图像。构造运动具有多期性,各期表现形式各不相同,以加里东运动及印支运动表现以褶皱作用为主,燕山运动则以强烈的断裂作用和广泛的以酸性为主的岩浆侵入及喷发活动为特征,喜马拉雅运动以断块作用及基性岩浆的喷出活动为主要标志。广东区域构造类型以褶皱、断裂(尤其数量较多的深、大断裂)和组合构造为主,其中上叠式中新生代断陷较为发育,局部地区还发育有弧形构造带和S形扭动构造。它们与其他各类构造共同构成了广东地壳中复杂的地质构造图像。

(1) 褶皱构造。广东的褶皱构造有紧闭型线状褶皱,宽展型背斜、向斜,“梳”状褶皱和短轴型褶皱等,不同地质时期,不同的大地构造环境产生不同类型的褶皱。

(2) 断裂构造。广东区域地壳经历了加里东运动、印支运动、燕山运动及喜马拉雅构造运动,形成一系列规模不等、方向各异、活动时代前后不一、性质不同的断裂。据有关方面统计,地壳中的断裂带有1000多条,其中深断裂带9条:①吴川-四会断裂带;②恩平-新丰断裂带;③河源断裂带;④莲花山断裂带;⑤潮州-普宁断裂带;⑥汕头-惠来断裂带;⑦南澳断裂带;⑧佛冈-丰良断裂带;⑨高要-惠来断裂带。大断裂9条:①郴县-怀集断裂;②罗定-悦城断裂;③贵子弧形断裂;④信宜-廉江断裂;⑤紫金-博罗断裂;⑥九峰断裂;⑦贵东断裂;⑧饶平断裂;⑨阿婆-惠来断裂。

(3) 组合构造。①断块和上叠式断陷盆地;②山字形构造;③弧形断裂、褶皱构造带;④旋转构造系;⑤S形扭动构造系。

1.1.4 区域新构造运动及变形

广东省的地壳运动,早期强烈,中期相对较和缓,晚期重新强烈。自震旦纪至第四纪,发生在广东省内的地壳构造运动至少有15次。古生代以后,依次发生的构造运动有:郁南运动,加里东运动,华力西运动第一幕、华力西运动第二幕(东吴运动)、华力西运动第三幕,印支运动,燕山运动第一至第五幕,喜马拉雅运动第一、第二、第三幕,共14次。构造地貌轮廓,奠定了本省构造基本格局。喜马拉雅运动旋回,以断块运动为特征,北部陆区以不等幅差异性断块上升运动为主,南部海域以不等幅差异性下沉为主。雷琼断陷有大陆玄武岩喷溢,粤东河源、埔前、杨村等地有玄武岩沿断裂带喷溢,珠江三角洲断陷内也有流纹岩和玄武岩溢出。燕山运动旋回和喜马拉雅运动旋回形成的上叠盆地堆积及同期的岩浆建造组成了本省地壳的上构造层。

同时从新构造研究的角度和蓄能电站选址的需要考虑,这里主要论述第四纪以来的构造运动,因为它与现今地壳稳定性与地震活动息息相关。

根据断块运动特征在全省的地区差异,可以划分为8个新构造断块构造分区,它们在运动的基本特征、运动类型、运动强度等方面均有所差异。以下分述广东新构造运动的基本特征、运动类型和8个断块构造区的特征。

1.1.4.1 新构造运动的基本特征

广东地区属于我国东南低洼区的部分,经历过加里东期、印支期、燕山期、喜马拉雅期等多期构造变动,新构造运动使老构造进一步复杂化,其运动特征可概述为运动的继承性和新生性。

1. 继承性

燕山运动在广东及邻区主要表现为断裂和岩浆活动, 现今沿海一带主要为北北东向或北东向深大断裂带, 如长乐-惠来断裂带、邵武-河源断裂带、政和-海丰断裂带、四会-吴川断裂带、北流-合浦断裂带等均为燕山运动时有强烈活动的构造带。在这几组断裂的控制下, 发育了一系列雁列式的北北东向或北东向的构造盆地和构造隆起。多期次的岩浆活动, 是燕山运动的另一种地壳运动方式, 其中又分为火山岩的喷出和花岗岩等酸性岩沿构造线侵入。岩浆岩沿断裂喷出或侵入以后, 被抬升而成为断隆区, 其中又有断陷盆地(或槽地)穿插, 沿北东-南西方向呈雁列式展布, 这种构造格局, 构成了现今断块构造的基础。喜马拉雅运动继承了燕山运动的构造变动, 仍然以断块运动为主, 但有地区差异, 沿近东西向或北东向构造线发生幅度不等的拗断, 沉积了巨厚的古近纪红色岩系。新构造运动时期, 继承了老构造的活动, 原来的断隆和断陷构造进一步得到发育, 大陆地区以断隆为主; 海岸带有升降, 表现了幅度较大的垂直差异运动; 还伴随比较强烈的火山活动, 雷州半岛发生了多期次的火山喷发, 玄武岩披覆在古近及新近系之上。内陆的断块山地走向多循北东向的构造线展布, 主要的水系亦取该构造线的走向, 沿海珠江三角洲等地则继承性地沉降, 发育成广东全省最大的三角洲平原。

2. 新生性

由于北西向构造发育较晚, 且具有强烈的新生性, 加之北东向、近东西向构造的重新活动, 使原来的断块构造受切割、改造而分异。其新生性呈南强北弱, 沿海强于内陆特点。沿海一带几组断裂的活动导致沿海地壳断块构造的复杂化, 断块差异运动较强, 形成一组第四纪的新生型断陷, 如潮汕平原断陷、海陆丰平原断陷、阳江平原断陷等, 断陷幅度达 50~150m。

综上所述, 广东地区新构造运动, 尤其是第四纪以来的构造运动的继承性和新生性具有明显的地区差异。继承性主要反映在北部的内陆山地丘陵所组成的隆起区, 新生性则由内陆向沿海增强, 前者表现为断块差异运动弱, 活动盆地不发育, 地震水平较低, 而后者表现为断块差异运动较强, 火山活动也较强, 活动盆地发育, 地震水平较高等方面。

1.1.4.2 新构造运动的类型

新构造运动的主要类型有断块差异运动、地壳间歇性整体抬升和掀斜等几种, 其中断块差异运动起主要作用, 以下分述各种运动类型的特征。

1. 断块差异运动

切割广东地壳的几组断裂构造带在新构造运动时期都有不同程度的活动, 其中北东向, 近东西向和北西向(北北西向)三组构造的活动性在构造地貌、地球化学、断层物质的年代检测、现代地壳垂直形变、地震活动、地热释放等方面有强弱不等的反映, 在三组构造中, 北东向构造塑造了现今广东地貌格架, 其构造线往往是划分区域性地貌单元的主要依据。北东向的邵武-河源断裂带、政和-海丰断裂南段的莲花山断裂, 四会-吴川断裂带等构造均严格地控制着粤东、粤北、粤西地区山地丘陵的走向。如粤东的莲花山脉, 粤西的云开大山东翼的云雾山脉, 分别是莲花山断裂和四会-吴川断裂带活动所控制下的断块山, 其走向均与断裂走向一致, 而与这组走向山脉互相穿插的断陷盆地或断层谷地则反映了断裂下降盘在第四纪以来的沉降活动, 如位于莲花山东南侧的海陆丰平原与位于云雾

山东南侧的阳春谷地就分别是上述两条断裂活动的产物（图 1.1-1）。北东向断裂对水系的发育也有重要的控制作用。现今广东主要的几条水系，东江水系、北江水系等常呈北东-南西走向。其中东江干流和北江若干支流的流向就明显地与北东向断裂带一致，与此相适应的河谷平原亦是取北东-南西走向。近东西向构造属地壳深部构造，它在地表上仅反映为断续延伸，彼此之间大致成等间距的断裂带。其中高要-陆丰断裂带的瘦狗岭断裂、罗浮山断裂等对珠江三角洲断陷的北界有明显的控制作用，南海北部的担杆列岛等近岸岛屿带则可能是珠江口南海近岸断裂带活动的反映。此外，粤东至粤西海岸带一组长轴为北东东向的海湾，如碣石湾、红海湾、大鹏湾也明显是受该组断裂构造的控制。总的来说，近东西向断裂的活动对沿海地区地貌发育有一定的影响，尤其表现在它与其他两组断裂交汇的地区。北西向（或北北西向）断裂原来多属于北东向构造，后期转化为与北东向共轭构造，但由于新构造运动以来板块运动的作用，其活动性明显增强，故它们切截、错移北东向和近东西向构造。在沿海地区成为活动性最强的一组断裂。在构造地貌上反映强烈，①它控制三角洲和海岸平原的第四系沉积格局，其第四系等厚线长轴均为北西向或北北西向；②控制了绝大多数注入南海的河流流向，如粤东的韩江、榕江，粤中的西江，粤西的漠阳江等；③构成与北东向的平行岭谷成正交的另一组平行岭谷（图 1.1-2），而且常切截前一组走向的岭谷。在雷州半岛还控制第四纪火山岩的活动。

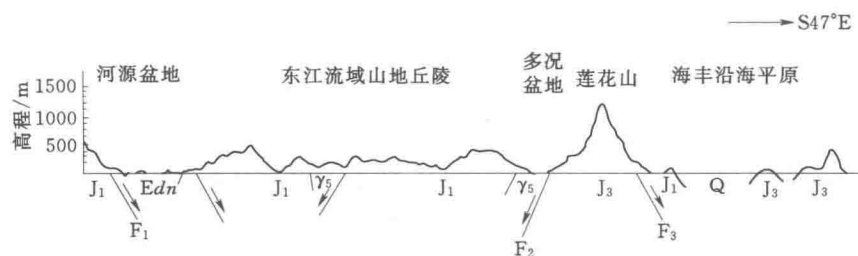


图 1.1-1 粤东沿海海丰-河源地质地貌剖面图

F₁—河源断裂（邵武-河源断裂带南段）；F₂—大埔-深圳断裂；F₃—莲花山断裂；J₁—下侏罗统砂页岩；J₃—上侏罗统火山岩；J₅—燕山早期花岗岩；Edn—古近系砂岩、砾岩

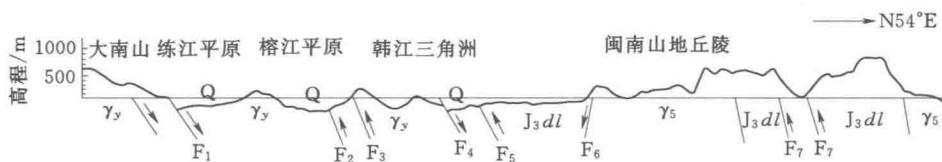


图 1.1-2 粤东大南山-闽南云霄山地质地貌剖面图

F₁—练江断裂；F₂—榕江断裂；F₃—桑浦山断裂；F₄—古港-澄海断裂；F₅—韩江断裂；F₆—梅县-饶平断裂；F₇—上杭-云霄断裂；J₅—燕山早期花岗岩；J_y—燕山晚期花岗岩；J_{3dl}—侏罗系火山凝灰熔岩；流纹岩；Q—第四系

断块构造运动对其他几种类型的新构造运动有一定控制作用，同时其一级构造单元构成广东地区新构造分区的依据。

广东地势北高南低，表现为从内陆向沿海的递降特征，这显然是由于受近东西向的断

裂兼有北东向断裂活动控制下的断块垂直运动所致。北升南降的地壳运动主要受控于近东西向的高要-惠来断裂带,同时也受北东向的莲花山断裂、邵武-河源断裂、四会-吴川断裂活动的一定影响,它们所切截的内陆地块以大面积间歇性抬升为主,构成粤北断隆区。高要-惠来断裂以南则是断块差异运动不等的沿海断块构造。在地貌上,北部地壳的抬升反映在多级夷平面,推断自新近纪以来已累计上升数百米,而南部沿海的三角洲,海岸平原所坐落的活动盆地内埋藏的第四纪风化壳、河流阶地、古三角洲等与周边一带的阶地或台地成数十米的垂直反差。

2. 大面积的间歇性抬升

广东抽水蓄能电站的上、下库多是建在不同高程的夷平面上。多级夷平面的存在,表明地壳自新近纪以来多次大面积的间歇性抬升。目前研究所知,广东普遍保存着标高约1000.00m、800.00m、500.00~600.00m、300.00~400.00m、150.00~200.00m、100.00m等多级夷平面,其中后两级夷平面保存较好,分布较广,前两级的分布范围小,保存较差。一般推断,最高一级夷平面应代表古近纪的准平原,新近纪以来地壳多次间歇性的大面积抬升,才按上升的序次形成现今上述所见的几级夷平面。各级夷平面的时代可根据它们所切过的地层时代来推断。不过,大多数夷平面均发育于新生代以前的地层内,故只能从少数可界定的发育在新生界的夷平面时代来泛推处于相同的新构造区内其他夷平面的时代。就现在所研究的程度所知,标高在300m以上的几级夷平面一般均属于新近纪,而低于它的100m左右的夷平面应属于新近纪末至早更新世初。

由于不同地区所属于的新构造区不同,各个时代的地壳抬升幅度有明显差异。广东省新构造运动时期地壳的抬升幅度以粤北地区最大,沿海地区相对较小。同一级夷平面的现今海拔高度有自北而南递降的趋势。与此同时,由于深受断块构造运动的影响,在不同的断块构造区,活动断块升降幅度的差异往往造成同级夷平面的高差不同。据有关研究所知,粤东沿海的断块构造区内,标高300~400m与500~600m这两级夷平面所统计得出的实际高度就比粤中与粤西的沿海断块区高出近100m。断块构造对夷平面发育的控制还反映在沿海地区各级夷平面的展布呈线性,并且与几组活动断裂带的展布方向相一致。无论在粤东沿海还是在粤中、粤西沿海地区,数级夷平面的等值线均与北东向、北西向的断裂构造线的走向相吻合,而且最低一级的等值线多与断裂通过的位置重合。但在粤东、粤中和粤西,各断块构造之间同级夷平面的现今标高有明显差异,说明在沿海地区,夷平面严格地受控于断块构造的垂直差异运动,显然不同于粤北等内陆地区大面积的整体地壳抬升。

总的来说,广东地区新近纪以来地壳有过多次间歇性的抬升,其中粤北地壳主要是大面积的整体抬升,断块构造差异运动不明显,而沿海地区因受断块构造的控制,地壳被分割成大小不等的断块抬升区和沉降区。抬升区的抬升虽然也有多次间歇性的抬升,但它明显地受活动断块所控制,其抬升幅度的地区差异较大,主要决定于不同断裂活动性的强弱。根据最高一级夷平面的现今标高,新近纪以来地壳最大的相对抬升幅度达1000m,均发生在内陆地区,而广东全省总的抬升特征是自内陆向沿海、自北而南抬升幅度逐渐减小。

3. 掀斜

当地壳沿着一定的轴线在不同地段产生不均衡升降运动,就在地表上表现为掀斜。在