

HUANGHE SHAPOTOU SHUILI
SHUNIU GONGCHENG
DIZHI YANJIU

黄河沙坡头水利枢纽工程 地质研究

杨计申 洪海涛 高金平 乔东玉 著



黄河水利出版社

黄河沙坡头水利枢纽工程 地质研究

杨计申 洪海涛 高金平 乔东玉 著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书对沙坡头水利枢纽区域地质环境、坝址环境地质等进行了系统分析和研究。利用系统论方法,对地质勘察工作设计和地质勘察工作过程进行动态管理;利用岩体结构控制理论,提出了“构造型极软岩”的概念;全面、系统地分析、论述构造型极软岩岩体结构特征、物理特性和强度特性,评价坝基地质环境,预测工程环境地质问题。

本书内容丰富,资料翔实,实用性强,对类似工程具有一定的指导意义,可供工程技术人员在进行地质勘察工作设计和地质勘察技术管理时参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河沙坡头水利枢纽工程地质研究/杨计申等著.
郑州:黄河水利出版社,2007.4

ISBN 978-7-80734-199-4

I. 黄… II. 杨… III. 黄河-水利枢纽-工程
地质-研究-中卫县 IV. P642.424.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 052700 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:wlp@yrpc.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:11.5

字数:265 千字

印数:1—1 200

版次:2007 年 4 月第 1 版

印次:2007 年 4 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-80734-199-4/P·67

定价:29.00 元

前 言

水利水电工程地质勘察是水利水电工程规划、设计和施工极为重要的基础工作之一。在水利水电工程建设中,随着工程规模的增大,适宜建坝的地质环境相应减少,工程地质环境问题也日趋复杂,区域构造稳定、坝基抗滑、边坡稳定、渗透稳定及水库地质环境等问题越来越突出,使工程地质环境勘察面临的任务更加艰巨,难度更大。因此,如何运用先进的地质勘察技术、先进的地质勘察设计,使地质勘察成果向定量发展,全面评价水利水电工程地质环境、预测工程地质环境问题,是目前工程地质工作者努力的方向。为此,我们以黄河沙坡头水利枢纽工程的实际地质勘察工作设计和工程建设、运行检验的翔实资料,详细论述了利用系统论思想指导地质勘察工作设计和地质勘察工作过程中的动态管理;利用岩体结构控制论提出“构造型极软岩”的概念及其岩体物理、力学特征;利用构造型极软岩岩体结构强度评价坝基地质环境、预测工程地质环境问题等,供工程地质工作者参考。

在本书编写出版过程中,得到了中水北方勘测设计研究有限责任公司勘察院各级领导和中国科学院地质与地球物理研究所周瑞光教授等的大力支持和帮助,中水北方勘测设计研究有限责任公司勘察院高级工程师黄翠稳同志绘制了本书的大部分插图,在此一并表示感谢!

由于我们水平所限,错误难免,敬请读者批评指正。

作 者

2006年8月

目 录

前 言

第 1 章 水利水电工程地质勘察设计	(1)
1.1 水利水电工程地质勘察的意义及特点	(1)
1.2 水利水电工程地质勘察的任务及手段	(3)
1.3 水利水电工程地质勘察的思维方法	(4)
1.4 水利水电工程地质勘察的思路	(7)
第 2 章 区域地质环境研究	(9)
2.1 区域地貌概况	(9)
2.2 地层岩性	(13)
2.3 构造	(15)
2.4 物理地质现象	(20)
2.5 水文地质环境	(20)
第 3 章 坝址环境地质及工程地质研究	(23)
3.1 坝址工程地质勘察	(23)
3.2 坝址环境地质问题	(25)
3.3 坝基工程地质研究	(28)
3.4 坝基岩体结构特征	(70)
3.5 软岩矿物成分及化学性质	(72)
3.6 泥、页岩的崩解性、膨胀性	(72)
3.7 岩石力学特征	(83)
3.8 坝基岩体对建筑物的适应性及地质工程建议	(124)
第 4 章 施工地质及地质工程	(129)
4.1 坝基岩体宏观质量	(129)
4.2 坝基岩体质量定量标准	(129)
4.3 工程地质分区及岩体力学参数选取	(133)
4.4 坝基水文地质环境	(136)
4.5 初步设计阶段工程地质勘察成果评述	(143)
第 5 章 坝基岩体变形研究	(144)
5.1 坝基岩体特征	(144)
5.2 变形点的布设原则	(144)

5.3 变形观测方法	(145)
5.4 开挖期变形测试	(149)
5.5 混凝土浇筑期变形测试	(154)
5.6 影响坝基岩体变形因素分析	(160)
5.7 对测试结果可靠性分析	(162)
5.8 岩体变形特征综合评价	(163)
结 语	(165)
参考文献	(166)
附 图	(167)

第 1 章 水利水电工程地质勘察设计

1.1 水利水电工程地质勘察的意义及特点

1.1.1 水利水电工程地质勘察的意义

工程地质是地质学的一个分支学科,作为一门综合性学科和应用性科学,涵盖着诸多专业学科领域。但工程地质学科的应用和发展与人类的生产活动密不可分。所以工程地质学是研究与工程有关的地质问题的科学,是研究人类工程建设活动与自然地质环境相互作用和相互影响的一门地质科学。

水利水电工程地质勘察是工程地质在水利水电工程建设中重要的基础性工作。水利水电工程因工程地质环境未查清或遗漏主要工程地质问题,造成工程失事或施工开挖后设计方案变更的事例,无论在国外或国内时有发生。究其原因,大多是对工程地质勘察重视不够、勘察精度不高、勘察方法不当、分析判断有误等,导致对地质规律认识不深、对地质环境评价不准。因此,工程地质勘察对水利水电工程设计和施工具有重要的现实意义。离开了对工程地质环境深入、全面的研究,就无法选定水工建筑物的最佳地段或地点,无法确定适合地形地质环境的建筑物类型、合理的工程布置和科学的施工方法。在施工和建筑物运行过程中,还可能出现一些预料不到的环境地质问题,无论工程建设成功与否,都将对地质环境造成较大的影响。通过较好的工程地质勘测工作,不仅能及早发现地质环境问题,更重要的是针对地质环境问题,能进行实事求是的地质评价,以达到精心设计、精心施工的目的。

1.1.2 水利水电工程地质勘察的特点

在水利水电工程中许多重大地质问题无不与水有关,故其一旦失事,对环境的影响和危害远比其他工程要大。水利水电工程的这些特点,决定了水利水电工程地质环境 and 环境地质问题的复杂性,以及水利水电工程地质勘察的深度、广度都比一般工程地基的地质勘察工作要深、要广,所以地质勘察难度大,勘察周期亦较长。水利水电工程地质勘察具有以下特点。

1.1.2.1 特殊性与复杂性

由于水利水电工程建设自身的特殊性和复杂性,使得水利水电工程地质不同于其他行业,它涉及面最广、问题最复杂、任务亦最艰巨,可以说是业界的龙头。

首先,水利水电工程建设的特殊性表现在工程建筑物的特殊性上。工业与民用建筑可以见到基本相同甚至完全相同的建筑物,可以部分或全部套用标准设计图纸。水工建筑物则不然,世界上有成千上万座水库大坝,很难找到两座完全相同的大坝。决定大坝的规模、坝型、结构等工程要素的自然条件很复杂,而工程地质条件是最主要的自然条件之一。其次,水工建筑物的特殊性还表现在与水打交道,所承受的主要荷载是水荷载。水利水电工程不允许失事,一旦失事,损失将十分惨重。

水利水电工程建设的复杂性主要表现为工程规模大,专业多,涉及面广,投资大,工期长,建筑物的形式、结构、功能、荷载组合等都十分复杂,特别是大型、特大型水利水电工程更是如此。例如举世瞩目的三峡水利枢纽工程,涉及到政治、经济、社会、资源、环境、文化等方方面面,很难找到其他基建工程可以等同于这样的水利水电工程。因此,水利水电工程地质专业的特殊性与复杂性是由水利水电工程建设的特殊性和复杂性所决定的,同时,工程区自然地质环境的复杂性也决定了这个专业的技术难度。

1.1.2.2 实践性与经验性

水利水电工程地质的另一特点是具有很强的实践性与经验性。工程地质决策不是计算和试验所能左右的,它很大程度上取决于工程经验,即使是十分成功的工程,也很难证明它既安全可靠又经济合理。余秋雨大师讲:“在文化面前没有人可以当老师。”站在地质工作者的角度,暂且不评论这句话对与不对,但对地质勘察工作而言,我们认为“在地质勘察工作面前没有人可以当老师”,意思是说,谁收集、掌握第一性资料最多,谁能实事求是地科学分析和运用第一性资料,谁就是老师。这一方面也说明地质勘察工作具有很强的实践性,另一方面也说明水利水电工程地质勘察中收集、掌握和分析、运用第一性资料的重要性。只有充分运用第一性资料,结合诸多工程经验,采用反思路分析地质环境的形成过程,判断工程地质环境,预测工程环境地质问题,才能真正认识地质环境,达到适应和利用地质环境的目的。

许多工程实例足以说明实践性与经验性的重要和必要。有些工程从分析计算上看是安全的,实际却出了问题;而另一些工程通过计算认为不安全,但却安全运行了数十年。因此,搞工程建设,工程经验往往是很重要的。

1.1.2.3 工程地质问题的长期性与潜伏性

水利水电工程地质的第三大特点是在地质体中留下的工程隐患具有长期性和潜伏性,甚至具有不可预见性。法国 Malpasset 拱坝失事和意大利 Vajont 水库大滑坡,均为水工史上震惊世界的惨痛教训,其地质隐患在整个勘测设计施工的全过程中没有丝毫警觉。葛洲坝工程坝基软弱夹层问题导致工程停工,重新补充勘探并对设计进行重大修改。南盘江天生桥二级水电站厂房建在一个古滑坡上,开工后实在施工不下去了,搬出滑坡体后又位于另一个滑坡体的脚下。该电站的引水隧洞工程地质条件更是复杂得令建设者们防不胜防。由于地质体中留下的工程隐患造成的工程事故,轻则修改设计,重则工程报废或

造成生命财产的重大损失,这样的例子实在太多,举不胜数。

1.1.2.4 工程地质的“黑箱”特性

工程地质体一般都是由岩(土)体组成的,任何岩(土)体(特别是岩体)都具有一定的结构。但岩(土)体的内部结构是不可直接观察的,只有通过钻探、物探等间接手段来了解岩(土)体的大体结构(如滑坡体的滑面)。由于岩(土)体结构本身的复杂性,用上述方法所得岩体内部结构往往是局部的、片面的,有时与真实情况相差甚远,甚至是错误的。因此,从岩(土)体内部不可直接观察这个角度讲,任何地质体都是一个“黑箱”,也正是这种“黑箱”特性限制了人们对地质体的正确认识,特别是定量化描述,当然也就阻止了地球科学的迅速发展。也就是说,地质体中某些性质的确是测不准的。据此,我们可以将工程地质测不准原理表述为:地质体的工程性质不可能用绝对准确的参数来确定,它们只能是通过地质测绘、勘探、试验、分析、统计和经验判断后提出一个建议区间值,供设计师根据建筑物的性质在这个区间值中选取设计采用值。

1.2 水利水电工程地质勘察的任务及手段

水利水电工程地质勘察的任务就是应用工程地质学原理和其他相关学科的理论,通过各种勘察手段和方法,对水利水电工程建设地区的地质环境 and 环境地质问题进行勘察和研究。要查清建设场址及相关区域内与工程建设有关的各类地质问题,为工程的规划(决策)、设计、施工及安全运行提供必需的资料。

一般而言,水利水电工程地质勘察的主要任务是:

- (1)选址,选择地质条件相对最优的工程建筑地区或场地;
- (2)评价,阐明工程建筑区或场地的工程地质条件,进行定性和定量的工程地质评价,准确界定工程地质问题;
- (3)预测工程建筑物兴建和运行过程中地质条件可能发生的变化,为研究改善和治理工程地质缺陷的地质工程措施提供依据;
- (4)调查工程建筑物所需的天然建筑材料等。

归纳起来,水利水电工程地质勘察的任务就是:为工程建设提供基础性和专门性地质资料,为工程选址、建筑物设计和施工以及不良地质条件的地质工程处理提供技术依据,同时对地质环境的变化——环境地质做出预测。

水利水电工程建筑物是多种多样的,需要针对不同的工程建筑物及其场址,以及不同的勘察阶段采取不同的勘察技术和手段。常用的勘察技术包括地质测绘、工程勘探(钻探工程、坑探工程)、工程物探、工程地质试验、水文地质试验、室内和现场岩土物理力学试验、遥感技术、计算机技术、地理信息系统等。对不同的水工建筑物及其建设场址要做到工程概念清晰,勘察目的明确,勘察手段合理,分析方法正确,计算可靠,参数可信,建议措

施符合工程实际,勘探精度满足要求。尤其是在当今市场经济形势之下,采用合理的勘察方法和手段,保证勘察质量、缩短工作周期、减少勘察费用、避免工程失误尤为重要。

1.3 水利水电工程地质勘察的思维方法

从人类诞生以来,从未停止探索地球奥秘的步伐,但仍远不能达到预防自然灾害、消除巨大损失的目的。随着科学技术的发展,研究工程地质的科学思维方法亦不断更新,从而促进了工程地质学科的进一步发展。2001年1月,中国科学院院长路甬祥把对“地球系统整体行为的集成研究”列为新世纪科学家要勇敢面对的第九大挑战。2002年10月温家宝同志在中国地质学会80周年纪念大会上讲话时也强调,必须实现“传统地质工作向以‘地球系统科学’为核心内容的现代地质工作”的转变。所以,现代科学系统方法已成为主导工程地质勘察的思维方法。

1.3.1 系统方法论简述

系统是由若干要素以一定结构形式联结构成的具有某种功能的有机整体。系统论是研究系统的模式、结构和规律的学问。它研究各种系统的共同特征,用数学方法定量地描述其功能,寻求并确立适用于一切系统的原理、原则和数学模型,是具有逻辑和数学性质的一门新兴的科学。

系统论的核心思想是系统的整体观念。系统论创始人贝塔朗菲强调,任何系统都是一个有机的整体,它不是各个部分的机械组合或简单相加,系统的整体功能是各要素在孤立状态下所没有的新性质。他用亚里士多德的“整体大于部分之和”的名言来说明系统的整体性,反对那种认为要素性能好,整体性能一定好,以局部说明整体的机械论的观点。同时,他认为系统中各要素不是孤立地存在着,每个要素在系统中都处于一定的位置,起着特定的作用。要素之间相互关联,构成了一个不可分割的整体。要素是整体中的要素,如果将要素从系统整体中割离出来,它将失去要素的作用。正像人手在人体中,它是劳动的器官,一旦将手与人体分离,那时它将不再是劳动的器官了一样。

1.3.2 系统的特征

系统的特征可归纳为以下几点:

(1)整体性。系统由相互依赖的若干部分组成,各部分之间存在着有机的联系,构成一个综合的整体,以实现一定的功能。这表现为系统具有集合性,即构成系统的各个部分可以具有不同的功能,但它们要实现系统的整体功能,不是各部分的简单组合,而是要有统一性和整体性,要充分注意各组成部分或各层次的协调和连接,提高系统的有序性和整体的运行效果。

(2)相关性。系统中相互关联的部分或部件形成“部件集”,“集”中各部分的特性和行

为相互制约、相互影响,这种相关性决定了系统的性质和形态。

(3)目的性和功能。大多数系统的活动或行为可以完成一定的功能,但不一定所有系统都有目的。人造系统或复合系统都是根据系统的目的来设定其功能的,这类系统也是系统工程研究的主要对象。水利水电工程就是具有很强的目的性和功能性。

(4)环境适应性。一个系统和包围该系统的环境之间通常都有物质、能量和信息的交换,外界环境的变化会引起系统特性的改变,这种改变相应地会使系统内各部分相互关系和功能发生变化。为了保持和恢复系统原有特性,系统必须具有对环境的适应能力。

(5)动态性。物质和运动是密不可分的,各种物质的特性、形态、结构、功能及其规律性,都是通过运动表现出来的,要认识物质首先要研究物质的运动,系统的动态性使其具有生命周期。开放系统与外界环境有物质、能量和信息的交换,系统内部结构也可以随时变化。一般来讲,系统的发展是一个有方向的动态过程。

(6)有序性。由于系统的结构、功能和层次的动态演变有某种方向性,因而系统具有有序性。也就是说,有序能使系统趋于稳定,有目的才能使系统走向期望的稳定系统结构。

1.3.3 系统的分类

1.3.3.1 自然系统和人造系统

原始的系统都是自然系统,人造系统都是存在于自然系统之中的。人造系统和自然系统之间存在着界面,两者互相影响和渗透。在水利水电工程建设中,工程地质环境就是一个自然的系统,而水利水电工程则是一个人工系统。两者最基本的关系,就是后者如何适应前者的要求,不使前者遭受恶化或破坏。近年来,人造系统对自然系统的不良影响已成为人们关注的重要问题。有的把二者的关系弄颠倒了,将不同类型、不同结构的水工建筑物置于想象的地质环境中,给工程建设造成诸多困难,亦给工程埋下不少隐患。例如,埃及阿斯旺水坝是一个典型的人造系统,水坝解决了埃及尼罗河洪水泛滥问题,但也带来一些不良影响。

这里所说的自然系统,是由地球内、外营力塑造的地形地貌、地层岩性、构造形迹及由构造变动改造过的岩体介质、地下水储存和运移、温度、空气等自然元素组成。

这里所说的人工系统,是由水利水电工程中不同形式、不同功能的多个建筑物组成。除精心设计,考虑这些建筑物的安全外,如何使这个系统中的各类型建筑物适应一个特定的地质环境、且不会在建筑物运行后产生环境地质问题,也成为水工建筑物设计的一个重要考虑内容。

系统工程所研究的对象,大多是既包含人造系统又包含自然系统的复合系统。从系统的观点讲,对系统的分析应自上而下地而不是自下而上地进行。例如,研究系统与所处环境,环境是最上一级,先注意系统对环境的影响,然后再进行系统本身的研究,系统的最

下级是组成系统的各个部分或要素。自然系统常常是复合系统的最上一级。

1.3.3.2 实体系统和抽象(概念)系统

所谓实体系统,是指以物理状态存在的作为组成要素的系统,这些实体占有一定空间,如水利水电工程建设中,地质勘察研究和水工建筑物均为实体系统。与实体系统相对应的是抽象概念系统,它是由概念、原理、假说、方法、计划、制度、程序等非物质实体构成的系统,实体系统是概念系统的基础,而概念系统往往又给实体系统提供指导和服务。例如,为实现某项水利水电工程实体,需提供计划、设计方案和目标分解,对复杂系统还要用数学模型或其他模型进行仿真,以便抽象出系统的主要因素,并进行多个方案分析,最终付诸实施。在这一过程中,计划、设计、仿真和方案分析等都属于抽象(概念)系统。

1.3.3.3 静态系统和动态系统

系统的静和动都是相对的。从某种意义上讲,可以认为在宏观上没有活动部分的结构系统或相对静止的结构系统为静态系统,例如水工建筑物、大桥、公路、房屋等。而动态系统指的是既有静态实体又有活动部分的系统。工程地质勘察就是一个动态系统。因为地质元素都在不停的运动着,也正是这些不停运动着的元素构成了千差万别的地质环境。

1.3.3.4 开放系统和封闭系统

封闭系统是一个与外界无明显联系的系统,环境仅仅为系统提供了一个边界,不管外部环境有什么变化,封闭系统仍表现为其内部稳定的均衡特性。开放系统是指在系统边界上与环境有信息、物质和能量交互作用的系统。在环境发生变化时,开放系统通过系统中要素与环境的交互作用以及系统本身的调节作用,使系统达到某一稳定状态。因此,开放系统常是自调整或自适应的系统。水利水电工程建设就是一个开放系统。

1.3.4 系统论的任务

系统论的任务,不仅在于认识系统的特点和规律,更重要的还在于利用这些特点和规律去控制、管理、改造或创造一系统,使它的存在与发展合乎人的目的需要。也就是说,研究系统论的目的在于调整系统结构和各要素关系,使系统达到优化目标。

系统论的出现,使人类的思维方式发生了深刻地变化。以往研究问题,一般是把事物分解成若干部分,抽象出最简单的因素来,然后再以部分的性质去说明复杂事物。这是笛卡儿奠定理论基础的分析方法。这种方法的着眼点在局部或要素,遵循的是单项因果决定论,虽然这是几百年来在特定范围内行之有效、人们最熟悉的思维方法,但是它不能如实地说明事物的整体性,不能反映事物之间的联系和相互作用,它只适用于认识较为简单的事物,而不胜任对复杂问题的研究。在现代科学的整体化和高度综合化发展的趋势下,在许多规模巨大、关系复杂、参数众多的复杂问题面前,传统分析方法就显得无能为力了。正当传统分析方法束手无策的时候,系统分析方法却站在时代前列,高屋建瓴,综观全局,别开生面地为现代复杂问题提供了有效的思维方式。所以系统论连同控制论、信息论等,及其他横断科学一起提供的新思路和新方法,为人类的思维开拓了新路,它们作为现代科

学的新潮流,促进了各门科学的发展。所以,对于工程地质勘察,更有必要利用系统的观点分析、研究水利水电工程地质环境及其环境地质的各种要素,使其更好地为人类服务。

1.4 水利水电工程地质勘察的思路

如前所述,任何地质体都可以看做是一个自然的、开放的系统。在这个系统中,由于其较强的开放性,使得它与一般的系统相比,表现出完全不同的特点,最突出的是具有“黑箱”特性和高度的非线性以及不可逆性。这些性质决定了该系统存在着简单与复杂、平衡与非平衡、线性与非线性、开放与封闭、确定性与随机性、可逆性与不可逆性、无序与有序等矛盾的对立与统一。

所以,面对水利水电工程地质环境这一系统工程,要求地质工程师从系统组成元素入手,对各元素之间的关系进行系统分析,用从大处着眼、小处着手的分析思路,从区域到场地对地形地貌(尤其是微地貌特征)、地层岩性、构造及其对岩体的破坏和改造、水文地质环境等进行综合分析,针对水工建筑物的要求提出可能的地质环境及预测环境地质问题,这应该是搞好水利水电工程地质勘测工作设计的前提。

仅有一个好的地质勘测工作设计还是不够的,作为一个地质工程师,还应在工程地质勘测过程中实施动态管理,坚持用由宏观判断微观,再由微观验证宏观的辩证唯物观点开展工作。这里所讲的宏观,是指在开展一项工程的地质勘察工作时,首先要搞清楚工程所处的区域地貌、地层、构造及其活动特征,以此推断建筑物场址的地质现象及其存在工程问题的可能性。这里所讲的微观是建筑物场址的地质现象,也是工程地质勘察的重点。应该对各种勘察方法、各种勘察手段获得的第一性资料及时去伪存真、去粗取精,进行有效的综合分析。在这个环节中,尤其重要的是要认识到不同的水工建筑物对场址的地质条件的具体要求不同,使地质勘察工作有较强的目的性和针对性。根据工程地质的特点,很难、也不可能有足够的经费和时间将建筑物场址的所有地质问题都研究清楚,但对与建筑物相关的地质问题一定要研究透彻。有一个具有哲理的故事讲到:在波斯沃斯战役中,英勇善战的英格兰国王查理三世,竟然因为卫士为其战马钉马掌时少钉了一个铁钉,而被击败,从而丢失了自己的国家。这个故事,被有心的人作出了这样一个精辟的概括性总结:少了一个铁钉,失了一个马掌;少了一个马掌,失了一匹战马;少了一匹战马,丢了一个国王;丢了一个国王,输了一场战争;输了一场战争,失了一个国家。故事经典,这总结更可谓经典,一环紧扣一环,入情入理,入木三分,令人警醒,同时也给我们工程地质工作者一个很好的启发。所谓由微观验证宏观,是指将在建筑物场址所取得的勘察成果与原宏观判断进行比较,并对其及时补充或修正,必要时及时调整地质勘测方法或手段、勘探点位置和技术要求,以便获得更加具体、完整和系统的地质勘察资料。整个工程地质勘测过程也是一个查明问题—发现问题—查明问题—发现问题的不断反复过程,也是将地

质勘察看做一个系统,逐步深入、不断反复的动态过程。这既符合系统分析方法,也符合自然辩证法认识自然的基本法则。

总之,水利水电工程地质勘察的思路是:坚持一切从客观地质实际出发,针对不同的建筑物和不同的建设场地,进行具体问题具体分析;坚持系统分析和自然辩证法的观点,依靠工程经验与创造性思维,做出公正、科学、可靠的工程地质决策。

工程地质勘察设计和勘察过程管理可以概括为一个框图,如图 1-1 所示。

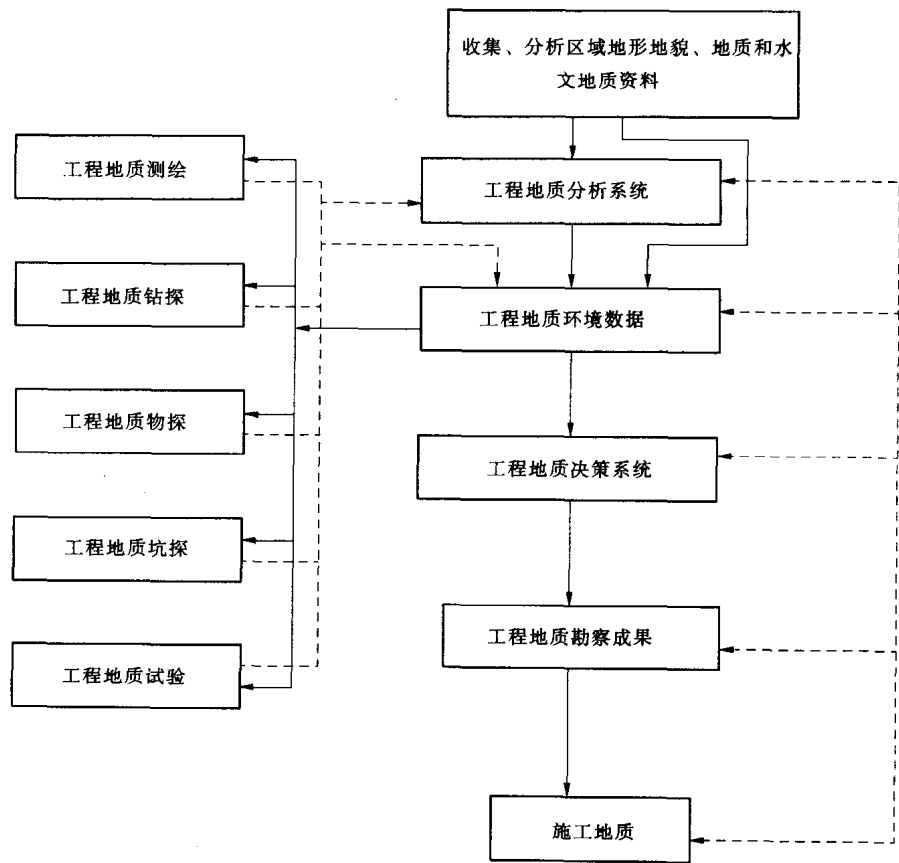


图 1-1 工程地质勘察设计和勘察过程管理示意框图

虚线表示反馈系统

第 2 章 区域地质环境研究

沙坡头坝址,地处宁夏、甘肃、内蒙古三省(区)交界附近的宁夏中卫市境内,为青藏高原东北部边缘地带。黄河由南西而北东穿过沙坡头库坝区,坝址位于黑山峡出口附近,即将进入卫—宁盆地。要研究大坝的地质环境和环境地质问题,首先要研究上述区域地质环境,这也是研究大坝地质环境的基础。

2.1 区域地貌概况

研究地貌发育特征是研究地质环境的基础。众所周知,地貌是地质构造营力与外营力长期相互作用的结果。微地貌有时表现了较新的、局部的构造活动特征,而较大的区域性地貌格局则严格受着新构造运动的控制,它反映着区域地壳运动在地表呈现的基本特征。

本区地势南西高而北东低,由南西向北东呈波状起伏而逐渐降低。最为显著的特征是山脉与盆地相间分布,坝址下游即进入卫—宁盆地,山地与盆地均呈向北东凸出的弧形带状展布。区域性大断裂往往发育于山脉北东一侧,致使山地与盆地近直角相接,断层多为倾向南西的逆冲兼走滑或走滑兼有逆冲性质的断层,而山脉南侧则为逐渐过渡到盆地的相对平缓的斜坡,地形从总体上看是向南西倾斜,如图 2-1 所示。

2.1.1 弧形山地带

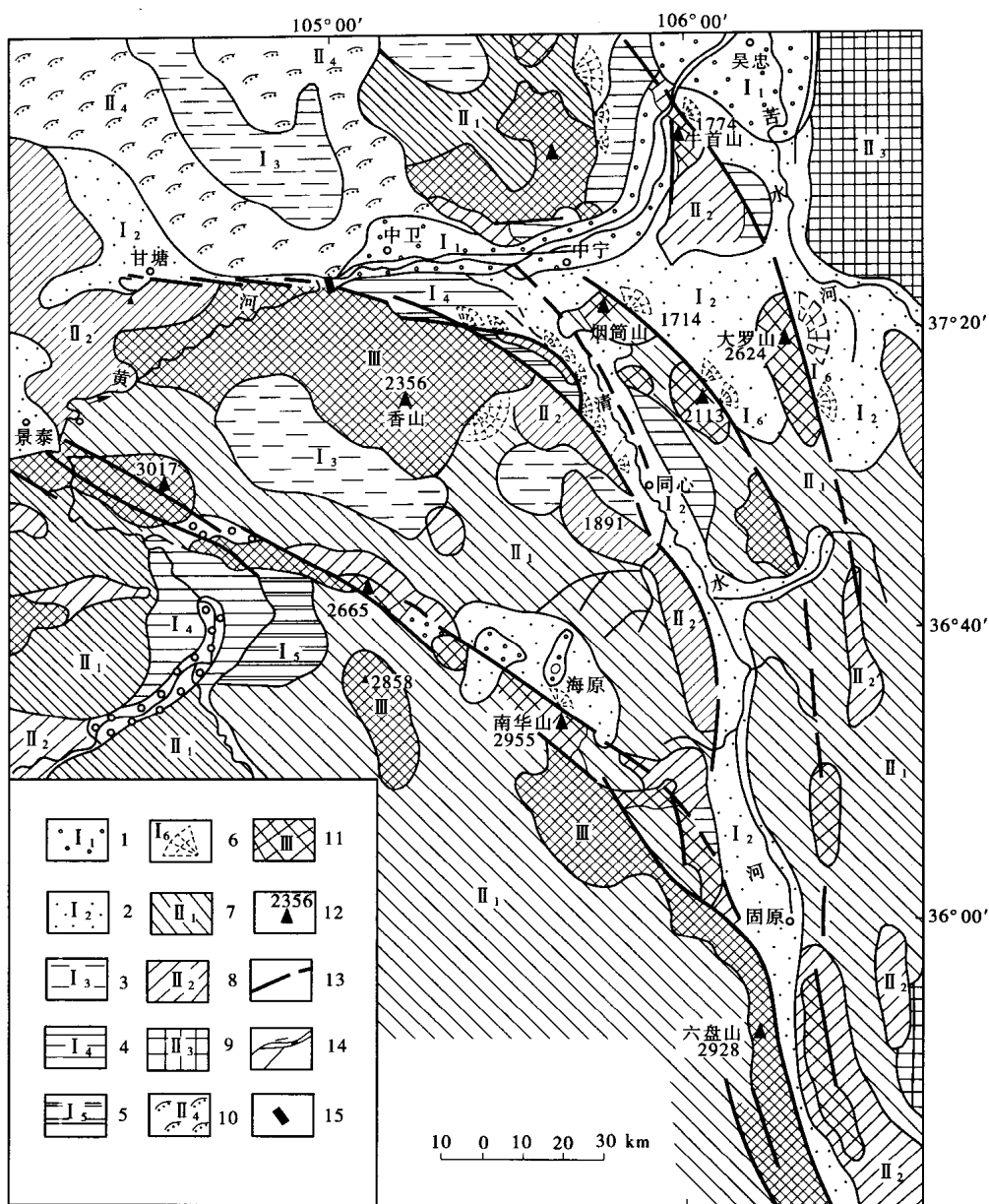
弧形山地是青藏高原与宁蒙高原过渡带内最为醒目的地形标志。弧形山地构成区内地貌的基本格架。山脉走向由西部的北西南向转为东部的北西—北北西向。东西延伸长达 100 km 以上。山顶高程一般在 2 000 m 以上,相对高差可达 500~1 000 m,属侵蚀剥蚀中中山区。山体西部主要由前寒武系—古生界组成,而东部则由中生界白垩系—新生界第三系地层组成。

受断裂构造的控制,山地两侧地形不对称,北东侧陡峭,相对高差较大,沟谷深切,山前台地、洪积扇发育;南西侧则与之相反,地形坡度比较缓,逐渐过渡到盆地。

本区共有四列弧形山地。由南西向北东,各列山地走向在北西段逐渐向北偏转,呈北西方向散开状,山体高程降低,长度缩短,曲率逐渐变大(除牛首山山地外)。

2.1.1.1 米家山—南、西华山—六盘山带

该带位于弧形山地最南西侧,长度最大,结构最为复杂。该带西部走向为北西西向,



1—全新世盆地与阶地；2—晚更新世—全新世断陷型盆地；3—晚更新世—全新世拗陷型盆地；4—I级台地；
5—II级台地；6—晚更新世—全新世洪积扇；7—丘陵；8—低山；9—鄂尔多斯台地；10—腾格里沙漠；11—中山；
12—山峰及其海拔高程；13—活动断裂；14—河流；15—坝址

图 2-1 区域构造地貌图

主要包括下列山地：米家山，高程2 304 m，由前寒武系—早古生界变质岩系组成。南华山以东，山地走向逐渐向南偏转，为北西—北北西向，由白垩系—第三系泥岩、砂岩和砾岩褶皱而成，月亮山高程2 633 m，六盘山2 928 m。本列山地由北西端至南东端长度超过200 km，南北宽10~20 km，属侵蚀剥蚀中中山区。山体两侧均有断裂发育，中、东段的北东

侧垂直差异活动较为显著,控制着兴仁堡、西安州—海原、清水河等盆地的发育,南西侧为陇中黄土丘陵;西段,断裂主要发育于南西侧,向西延伸至武威附近,交于武威—兰州断裂带。

2.1.1.2 红山—香山—天景山—米钵山带

该带西起甘塘附近,东至同心西侧山地,向南于马东附近与前列弧形山地交会,全长200 km左右。中段最宽处可达40 km。山体走向由西端的近东西向向东和南东逐渐过渡到北西至近南北向。山脊高程为2 000 m左右,如红山2 004 m,大草山2 113 m,香山2 356 m,天景山2 138 m,米钵山2 212 m。西段由下古生界变质岩系构成,次为上古生界砂岩、页岩和煤系地层,切割较深,相对高差500~700 m;东段走向北西—北北西—近南北向,由第三系和白垩系地层褶皱而成,为西缓东陡的背斜山,山脊高程多在1 500~1 900 m之间,河流切割深度为数十米至百余米。

该带山体北东侧发育断层,走向与山地延伸方向一致,倾向南西,断层侧形成陡峭的山坡,发育台地与洪积扇、裙,山地与盆地近直角相接。南西侧则与兴仁堡—海原盆地带逐渐过渡。

在本列山地弧顶外侧,发育有次级弧形山地。由若干低山、残丘组成,高程1 500 m左右,地层为泥盆系砂岩和第三系砂砾岩。山地北东侧发育断层,向南东方向延伸交会于香山—天景山山前断裂。

2.1.1.3 烟筒山—窑山带

本带规模较小,由卫宁北山的南缘山地(高程1 446 m)、烟筒山(高程1 714 m)、张家山(高程2 113 m)和窑山(高程2 168 m)等组成,由西向东断层走向东西—北西—南北。由古生界砂页岩和白垩系—第三系砂砾岩褶皱而成。山地带全长百余千米,宽十余千米,南西侧向卫—宁盆地过渡,北东侧受烟筒山断裂控制,与中宁—红寺堡盆地相接,山地与盆地间高差300~400 m。

2.1.1.4 牛首山—大、小罗山—云雾山带

该带位于本区最北东侧,是最外侧—列弧形山地。弧形曲率较小。山体走向北北西,长约160 km,宽几千米,向北西方向延伸至阿拉善左旗附近。牛首山和大、小罗山北东侧可见断层出露。断裂带西盘为下古生界变质岩系褶皱山地,逆冲于东侧鄂尔多斯台地之上。山地高程1 774~2 624 m。

以上四列弧形山地带均于南东端收敛于固原—六盘山一带,向北西方向散开,如图2-1所示。

2.1.2 构造凹地——盆地带

上述各弧形山地带之间为相对低洼地带,构造上主要为拗陷—断陷盆地,其形成演化受构造活动的控制。在地貌上与弧形山地形成鲜明对照,在山地北东麓可见古生界地层逆冲于盆地第四系地层之上。自南西向北东,主要有兴仁堡—海原—固原盆地带、中卫—