

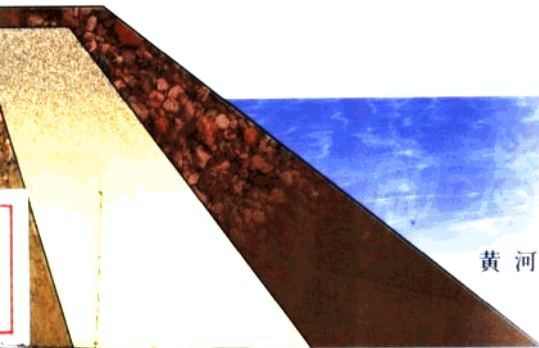
NIANYASHI

林昭 著

碾压式 土石坝 设计

TUSHIBA SHEJI

黄河水利出版社



碾压式土石坝设计

林 昭 著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书包括碾压式土石坝设计的全部内容:枢纽布置;各种断面型式和适用条件;各种筑坝材料及填筑标准的确定;对各种坝基的处理方法;土石坝的岸坡接头以及与混凝土建筑物的连接型式;坝体结构;各种有关计算(如渗流、坝坡稳定、沉降、坝体应力应变等);土石坝抗震及监测等。

本书内容丰富,资料翔实,充分借鉴国内外已建的大量土石坝工程实践经验,附有大量图表和数据,详述各种工程措施,指出设计中应该注意的各个方面,实用性比较强,可供从事土石坝设计的技术人员及大专院校水工结构专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

碾压式土石坝设计/林昭著. —郑州:黄河水利出版社,
2003.7

ISBN 7-80621-672-3

I.碾… II.林… III.碾压土坝-设计 IV.TV641.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第021658号

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

发行部电话及传真:0371-6922620

E-mail:yrpc@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:850 mm×1168 mm 1/32

印张:8.125

插页:2

字数:213千字

印数:1—3 000

版次:2003年7月第1版

印次:2003年7月第1次印刷

书号:ISBN 7-80621-672-3/TV·311

定价:19.80元

作者简介

林昭,1929年生于新加坡,原籍福州市,1952年毕业于清华大学,教授级高级工程师,中国工程设计大师。现任水利部天津水利水电勘测设计研究院副总工程师、专家委员会副主任,水利部科学技术委员会委员,黄河小浪底水利枢纽工程技术委员。

大学毕业后一直从事水利水电工程设计,至今已51年,目前还分管正在施工中的西部开发重点工程——黄河沙坡头水利枢纽工程。前后负责过20多项国内外大型水利水电工程设计,其中包括河北岗南水库、山西汾河水库、河南板桥水库重建、黄河黑山峡大柳树水利枢纽、刚果英布鲁水电站、马来西亚槟城供水工程等。上述工程的拦河坝都是大型土石坝,其中板桥水库重建工程曾先后获水利部及国家优秀设计银奖。

对土石坝设计比较熟悉,前后曾参加数十座土石坝的审查鉴定、质量处理和技术咨询,解决许多关键技术问题,为国家节省不少资金。作为专家参加由中国国际工程咨询公司组织的多项大型水利水电工程,如黄河小浪底工程、南水北调东线工程、天生桥一级水电站、广东飞来峡水利枢纽等工程的国家评估;参加三峡、小浪底、大广坝、湖北王甫洲、新疆“635”等大型水利枢纽工程的安全鉴定和验收;主持过南水北调中线总干渠工程可行性研究报告的预审。

曾在重要学术刊物上发表过多篇土石坝论文,为中国大百科全书水利篇撰写有关土石坝的全部条目。

鉴于个人的业绩和贡献,1991年被批准为首批享受政府特殊津贴的专家,1994年获国家颁发的“中国工程设计大师”称号,1998年被评为中国归侨侨眷先进个人。

自序

目前出版科技书籍,多请名人作序,大抵对作者及书的内容进行介绍并褒扬。水利界的著名专家学者我大部分都熟悉,找人作序并不难,之所以没这样做,一是不好意思浪费精英的宝贵时间,二是认为一本书的水平和使用价值,可由广大读者去评判,我于是自行作序。

拦河筑坝是人类利用水资源来为自身造福而采取的一种工程措施。拦河坝型式多种,以土石坝最为广泛。这是由于土石坝可以充分利用土、砂、砾石和石料等当地材料筑成,对坝基要求相对较低,能适应多种地基。土石坝不仅可以修在岩基上,而且更多修在土、砂、砾石等软基上,故在国内外得到广泛采用。由于土石坝数量远超过混凝土坝,本书对象为土石坝设计,所选题材有现实意义。

我大学毕业后一直从事水利水电工程设计,至今已半个世纪,接触过许多土石坝工程,深深感到土石坝无论坝体、坝基都属岩土范畴,都是非均质弹塑性体,计算时往往需对应力应变关系、物理力学参数或边界条件等作一些假定,计算结果属于半理论半经验,有时只供判断用,而不能成为设计决策的惟一依据。做好土石坝工程设计,不仅在于会计算,更重要的是如何结合坝址地形、地质和筑坝材料等具体条件,借鉴已成工程的成功经验,

在布置、结构型式、处理办法等方面采取有效措施,做到既经济又安全。对于一个成熟的土石坝设计工程师,丰富的工程实践经验至关重要。

本书内容力求精炼、实用,虽然没有洋洋数十万字,但却基本涵盖了土石坝设计的所有内容。不仅介绍必要的计算公式、图表和设计指标范围值,还根据作者数十年的实践经验,并参照一些技术文献和国内外大量土石坝工程实例,用相当多的篇幅阐述各种坝型的优缺点和特色、筑坝材料的选择、坝基处理措施、抗震和活断层上筑坝的工程措施等,内容比较丰富,可供读者参考。此外,还在有关章节中提醒设计者应该注意的方方面面,以上这些算是本书特点。

我编著此书态度是认真严谨的,由于工作忙,只能挤时间,断断续续写了近两年,也算倾注了一番心血,如对广大读者能有一定参考价值,多少有所帮助,则心满意足矣!限于个人水平,本书如有不当之处,尚祈同行专家和读者批评指正。

在本书出版过程中,承蒙水利部天津水利水电勘测设计研究院的领导和有关同志以及黄河水利出版社给予大力支持,谨致衷心感谢。

中国工程设计大师 林昭

2003年2月

前 言

新中国成立后,尤其是改革开放以来,党和政府十分重视我国的水利事业,把它看成是发展国民经济、增强国力的一项重要基础设施,先后投入数以千亿元计的大量资金。近年来水利投资逐年增加,建成了许多水利工程,其中修坝蓄水、兴利除害的水库枢纽工程占有重要地位,而拦河坝是水库枢纽中的重要组成部分,被多方所瞩目,其中长江三峡大坝和黄河小浪底大坝最为著名。

在拦河坝中以土石坝最多,据不完全统计,全世界坝高超过15m的土石坝有29 000多座;而在我国,各种坝高的拦河坝有86 000多座,其中土石坝占95%以上。土石坝之所以如此广泛,一是可以充分利用土、砂、砂砾、石料等当地材料,二是对坝基要求相对比混凝土坝低,如土、砂砾等软基不适于修建混凝土坝,但却可以修建土石坝。应指出,土石坝发生事故也相对多些,首先是由于洪水涨偏低或泄水建筑物规模偏小,因而造成洪水漫坝失事。如河南省1975年8月特大洪水中,板桥和石漫滩水库土石坝漫顶垮坝,给下游造成严重危害。其次,由于许多土石坝是建在土、砂、砂砾等软基上,因坝基渗流破坏而失事的也时有所闻。土石坝失事有不少是由设计不当造成的,对土石坝尤应强调精心设计。

本书为碾压式土石坝设计,具体对象是指用碾压机具将建坝材料分层压实而筑成的土石坝,它占土石坝的绝大部分。本书篇幅虽然不大,但已包括碾压式土石坝设计的全部内容,如阐明各种型式的坝体断面、枢纽布置原则、筑坝材料的选用以及压实标准的确定、各种坝基处理方法、坝体细部设计、有关计算、抗震措施和观测设计等。鉴于坝基渗流破坏为土石坝失事的主要原因之一,故本书对坝基处理作了较详细叙述,结合实践经验,介绍许多处理办法,占了较多篇幅,这是必要的。

土石坝设计包含许多计算,如坝体应力应变、坝坡稳定分析等都与岩土有关。岩土为非均质弹塑性体,计算所需要的参数和边界条件等都作了一些假定,在这样基础上做出的计算,很难准确无误地反映客观实际。因此,在土石坝设计规范中,便把计算方法、参数选定和要求的 minimum 安全系数相互配套,作出相应规定。如坝坡抗滑稳定分析,以往多用不计条块间作用力的瑞典圆弧法,近年引入计入条块间作用力的简化毕肖普法,后者比前者更合理,算出来的坝坡也常比前者陡些。但由于已经建成的土石坝坝坡,大半是采用瑞典圆弧法和配套的安全系数计算确定,并经受了实践考验,而简化毕肖普法经过实践考验的还比较少,为保险起见,应减少两种方法计算出来坝坡的差别。因此,在新修订的碾压式土石坝设计规范中,对坝坡稳定分析,虽首选简化毕肖普法,但对其允许的最小安全系数却比瑞典圆弧法提高 8% 左右。混

土重力坝的抗滑稳定计算也有类似情况,用抗剪断强度计算要求的最小抗滑稳定安全系数,就远大于用抗剪强度计算的结果。以上说明,涉及岩土的计算,有不少是半经验半理论,必须紧密结合工程实践。因此,本书不仅仅介绍各种有关计算方法和相关图表,而且还吸取工程实际经验,参考有关文献资料,用较多篇幅来阐述布置、选型、处理办法和相应的工程措施等,供设计者参考。

著 者

2003年2月

目 录

第一章 概述	(1)
第二章 枢纽布置和坝型	(3)
第一节 枢纽布置	(3)
第二节 坝型	(4)
第三章 筑坝材料和填筑标准	(10)
第一节 筑坝材料	(10)
第二节 填筑标准	(30)
第四章 坝基处理、防渗体与岸坡及混凝土建筑物的连接	(41)
第一节 岩石地基	(41)
第二节 土基	(51)
第三节 砂砾石地基	(52)
第四节 湿陷性黄土	(91)
第五节 软土地基	(96)
第六节 易液化砂土	(113)
第七节 岸坡连接	(120)
第八节 与混凝土建筑物的连接	(124)
第五章 坝体结构	(128)
第一节 坝坡	(128)
第二节 防渗体	(129)
第三节 坝顶超高	(130)
第四节 坝顶构造	(138)
第五节 护坡	(140)

第六节	坝顶坝面排水·····	(147)
第七节	坝体排水·····	(149)
第八节	反滤层和过滤层·····	(154)
第六章	土石坝计算·····	(161)
第一节	渗流·····	(161)
第二节	坝坡稳定·····	(175)
第三节	沉降·····	(191)
第四节	应力应变·····	(198)
第七章	抗震设计·····	(214)
第一节	概况·····	(214)
第二节	地震加速度·····	(221)
第三节	坝坡抗震稳定·····	(223)
第四节	抗震措施·····	(226)
第五节	活断层上土石坝的抗断设计·····	(229)
第八章	土石坝观测·····	(240)
第一节	观测目的和任务·····	(240)
第二节	观测项目及观测设备·····	(241)
第三节	布置·····	(243)
参考文献	·····	(248)

第一章 概 述

本书所涉及的土石坝是指用土、砂、砂砾和石料等当地材料筑成的拦河坝,而用钢筋混凝土、沥青混凝土以及土工合成材料等非土质材料作防渗体的土石坝不在本书范围内。

土石坝是一种最古老的坝型,早在4 100年前,巴比伦人民已在幼发拉底河上为发展灌溉而修建土坝;公元前,印度、埃及以及其他国家也建成一些土坝。为了防御黄河洪水灾害,早在春秋(公元前 770 年~前 476 年)以前,中国人民就已沿黄河两岸修建土堤,经过历代扩充加固,至今全长已达1 498km,就其结构而言,土堤实质上就是土坝。公元前 598 年~前 591 年在安徽省寿县修建堤堰形成安丰塘水库。17~18 世纪俄国在乌拉尔等地修建 200 多座土坝以满足采矿及工业用水需要。

碾压式土石坝是指用碾压机具将土、砂和石料等分层碾压而建成的一种拦河坝。当前世界上碾压式土石坝发展最快,无论是坝高或数量方面都远超过混凝土坝,约占建坝总数的 95% 以上。在 100m 以上高坝中,1961~1968 年土坝仅占 38%,至 1975 年以后,就增加到 75%,其中已建的土石坝以苏联努列克为最高,达 317m;已建坝高超过 200m 的土石坝还有高达 263m 的墨西哥奇科森坝、高达 242m 的加拿大买卡坝以及高达 235m 的美国渥洛维尔坝等共 9 座。在中国已建坝高超过 100m 的土石坝有黄河小浪底(156m)、陕西石头河(105m)、甘肃碧口(101m)及云南鲁布革(101m)等。在国内外已建的高土石坝,不少位于 8 度或 9 度强震区以及工程地质条件不良的地区。

碾压式土石坝之所以得到广泛发展,主要具有如下特点:

(1)土石坝可以就地取材,采用土料、砂、砂砾、石渣和石料等筑坝,大大节省水泥、钢材和木材等外运材料。

(2)随着土力学理论及实践日益完善,土石坝筑坝经验不断积累,使防渗土料由粘土、壤土等传统细粒土料扩大至黄土、坡残积红土、砾石土甚至膨胀土,其级配范围十分宽广。近年来,由于大型振动平碾的问世,使得从以往要求采用新鲜坚硬石料作为透水坝壳,发展至可以采用软岩、风化岩以及从建筑物基坑开挖出的石渣,通过振动平碾压实形成可靠坝壳。所有这些都大大拓宽了土石坝用料范围,得以因地制宜,提高经济效益。

(3)土石坝对坝基要求,无论是承载力或抗剪强度方面都比混凝土坝低。许多土石坝都直接建在砂砾甚至土基上,而混凝土坝就难以做到。对坝基要求相对低,是广泛采用土石坝的又一个原因。

(4)近年来大型土方机械相继出现,使修建碾压式土石坝所需的开挖、运输、碾压等作业得以实行大规模机械化,效率及经济效益大为提高,施工速度加快,工期明显缩短。

(5)土石坝造价通常低于混凝土坝。

目前土石坝发展趋势是用料多样化,采用大规模机械化施工,坝高逐渐增加,在拦河坝中所占比例愈来愈大。

第二章 枢纽布置和坝型

第一节 枢纽布置

土石坝枢纽通常包括拦河坝、溢洪道、泄洪洞、输水或引水洞及水电站等,应根据地形地质条件,通过技术经济比较确定。

坝址应选在地形地质有利的地方,使坝轴线较短、库容较大、淹没少,附近有丰富的筑坝材料,便于布置泄水建筑物。在高山深谷区,常将坝址选在弯曲河段,把坝布置在弯道上,利用凸岸山脊设置溢洪道和隧洞等,但当山脊比较单薄时,需校核水库蓄水后的山脊抗滑稳定和渗透稳定,并采取帷幕灌浆、排水、锚喷和填筑压戗等相应加固措施。应尽量避免将坝址选在工程地质条件不良的地段,如活断层,会形成整体滑动的软弱夹层,以及粉细砂、软粘土和淤泥等软弱地基上。

坝轴线一般宜顺直,如布置成折线,在转折处以曲线连接。如坝轴平面形成弧形,最好是凸向上游;如受地形限制,不得不凸向下游,曲度应小些,防渗体不要过薄,以免蓄水后防渗体产生拉力而出现顺水流方向的裂缝。

水流漫顶将招致土石坝失事,故洪水涨应留余地,应设置安全可靠有足够泄流能力的泄水建筑物,这些对于土石坝安全运用至关重要。由于溢洪道超泄能力较大,如有条件应优先考虑。如坝址附近有天然埡口,可以利用布置溢洪道,并用其开挖料筑坝。由于陡槽流速高,溢洪道宜尽量布置成直线,上游引水渠和下游出水渠,可布置成弯道。当坝址附近没有天然埡口,也可以将溢洪道布

置在坝肩,紧挨土石坝,用混凝土或浆砌石导墙隔开,并要保护上游坝坡,防止被横向水流冲刷。

泄洪洞是最常见的另一种泄水建筑物,经常采用“龙抬头”型式,将导流洞进口抬高,改造成泄洪洞。混合式泄洪洞进口采用溢流堰,与溢洪道相似,但泄流陡槽却采用隧洞。明流洞身尽可能直线布置。在中小型土石坝枢纽中,也有采用坝下埋管作为泄水建筑物,坝下埋管最好建在岩基上,如需建在土基上,要求土基密实、均匀,而且埋管沿线的土基刚性不要相差过大,避免产生不均匀沉降。坝下埋管优先采用明流,避免在明满流交替状况下工作。

如泄水建筑物和水电站布置在同一岸,发电引水洞通常靠近岸边,而泄水建筑往岸里布置,这样发电引水洞可以短些,对降低水锤压力有利,同时使得泄水建筑物出口位于水电站尾水渠下游,减少泄流时水面波动,影响水电站尾水位。

泄水建筑物出口离下游坝脚应有一定距离,并采用可靠消能措施,如消力池、挑流鼻坎等,来达到消能目的,防止淘刷坝脚。

第二节 坝 型

采用土料防渗的碾压式土石坝通常采用如下的4种断面型式。

一、均质土坝

坝体绝大部分采用同一种筑坝材料筑成的土坝(图2-1)。通常用弱透水土料,如粘土、壤土和砾石土等修筑均质土坝;当受到料源限制时,偶尔也采用砂壤土和砂等透水性大的材料修筑,但仅适用于对渗漏量基本可以不控制的滞洪水库,而且上下游坝坡比较缓,以满足坝坡稳定要求。

均质土坝适用于当地只有一种筑坝材料的情况。其优点是:坝体材料单一,施工工序简单,干扰少;坝体防渗部分厚大,渗透比

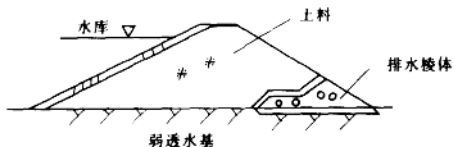


图 2-1 均质土坝

降比较小,有利于渗流稳定和减少通过坝体的渗流量,此外,坝体和坝基、岸坡及混凝土建筑物的接触渗径比较长,可简化防渗处理。均质土坝的缺点是:由于土料抗剪强度比用在其他坝型坝壳的石料、砂砾和砂等材料的抗剪强度小,故其上下游坝坡比其他坝型缓,填筑工程量比较大。坝体施工受严寒及降雨影响,有效工日会减少,工期延长,故在寒冷及多雨地区的使用受到限制。由于这种坝型全断面基本上都用弱透水材料筑成,排水性能差,施工期因填土自重而产生的孔隙水压不易消散,对坝坡稳定不利。

位于相对不透水基上的均质土坝,如不设置坝内排水,坝体浸润线会上抬很高(图 2-2),需要较缓的下游坝坡才能保证边坡稳定,而且对渗水出逸的下游坡面还必须用透水料保护。此外,当库水位降落时,在上游坝坡范围内浸润线以下的坝体饱和水排向库内,渗水方向对上游坡稳定不利,需要比较缓的上游坡以维持边坡稳定。因此,不透水基上均质土坝常需设置坝体内排水,详见第五章第七节“坝体排水”。

均质土坝主要用于中低坝,高坝用得不多。

二、多种土质坝(或分区坝)

采用两种以上的当地材料在坝体内分区填筑而成。除采用土质防渗料外,还采用砂、砂砾和石渣石料等透水料。土料置于坝体中间或靠上游,再按反滤排水原则分别设置从中间向上下游,或由上游向下游透水性逐渐增大的透水料,见图 2-3。

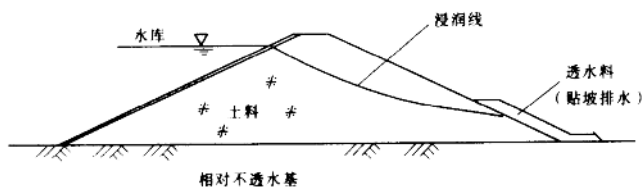
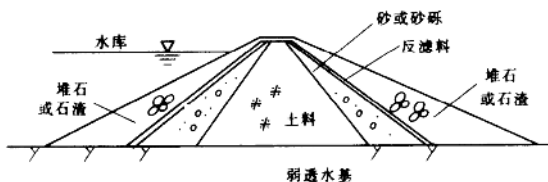
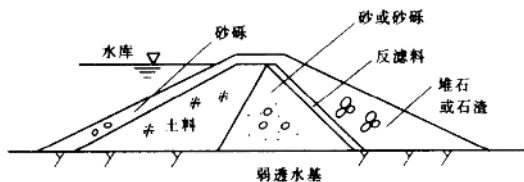


图 2-2 位于相对不透水基上的均质土坝



(a) 土质防渗体位于中间



(b) 土质防渗体位于上游

图 2-3 多种土质坝

多种土质坝适用于坝址附近具备土料以及几种透水料,之所以采用几种透水料有时是由于其中任何一种透水料的储量不能满足填筑要求。采用这种坝型可以尽量利用枢纽建筑物开挖出来的石渣筑坝。

该坝型的优点是可以因地制宜,充分利用包括石渣在内的当地各种筑坝材料;土料用量比均质土坝少,施工受气候影响也相对