

小型土坝的漫顶泄洪新技术

汝乃华, 赵智华

(水利部上海勘测设计研究院, 上海 200434)

摘要:介绍一种在土坝坝顶和下游面铺设碾压混凝土(RCC)护面,用以在洪水期允许漫顶泄洪的新技术,以及美国30座小型土坝采用这种技术的实际经验。

关键词:水库;土坝;防洪;漫顶;碾压混凝土

中图分类号:TV641.2

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)03-0038-06

我国小型水库众多,据1995年统计:小一型水库1.4万座、小二型水库约6.2万座,分别占总水库数的16.2%和80.4%,其中绝大多数(95%以上)是土坝,这些坝由于建设时期的设计标准不高,施工质量低,以致在历年汛期溃坝时有发生。根据1962年、1981年和1991年三次统计:小型土坝的溃坝率高达20%,其溃坝数量占总溃坝数量的96.5%^[1]。而失事原因位居榜首的乃是防洪标准偏低,泄洪能力不足,以致洪水漫过坝顶而溃决,使当地人民的生命财产蒙受重大损失^[1]。

因此,如何提高我国小型土坝的防洪能力,增加水库的安全,是当前迫切需要研究解决的重大实际课题。对此,水利部水管司原总工程师牛运光,曾提出4项措施:①适当加高大坝、增加水库调蓄能力;②加大泄洪设施,增加泄洪量;③增加坝高和扩大泄洪量相结合;④采取非常措施破开副坝泄洪^[2]。这些措施无疑是从我国几十年水库运行经验中总结出来的,非常宝贵。

此外,随着世界科学发展和坝工技术的进步,在国外(主要是美国),近年通过实践又开创了一种在土坝坝顶和下游坡面铺设允许漫顶泄洪的RCC(碾压混凝土)防护面层的技术,用以提高坝和水库的防洪能力。这种措施具有方法简单、施工快、费用低、效果好和不需要降低水库水位等特点。本文对这一新技术在设计、施工和已建工程三方面作扼要介绍,并期望国内各地、县的水库能早日通过试点引用这项新技术。

1 设计方面

RCC漫顶泄洪防护的技术内容十分简单,包括:

在土坝的坝顶、下游坡面和坝趾,铺设RCC面层,使原来如果漫顶就会破坏溃决的土坝具备一定的漫顶泄洪能力。这样做可以达到以下目的:①提高防洪标准,能在发生设计和校核洪水时确保坝的安全;②在发生比设计和校核标准更大的洪水,无法避免溃坝时,延长溃坝过程,削减溃坝洪峰,给下游地区居民以报警和安全撤退的时间;③能使溃坝洪峰和流域内的天然洪峰错开,减小对下游的灾害。

坝体漫顶泄洪的范围可以占有整个河床坝段,也可以仅占局部坝段,相当于形成一个非常溢洪道,这些要视水库的泄洪需要而定。所以对于一个一座坝的漫顶防护设计,将取决于该坝的特定工程条件,包括:设计洪水标准、失事的后果、坝址地形以及该坝的布置、断面构造和所用的材料等等。这些问题的解决在很大程度上还要依靠设计人员的经验和判断。但首先必须弄清这座坝的可能破坏模式,这将涉及水文、水力、结构和岩土等方面的问题,必要时可作水力模型试验来验证设计方案的正确性。但在中小型工程上模型试验一般很少采用,都用类比法参考已建工程的经验解决。图1为两座美国小型土坝Ashton坝和Comanche Trail坝的断面布置,前者坝高18.3m,后者仅6.1m。

RCC护面的设计要求,不论低坝或高坝基本相同,护面的破坏模式也和一般岸坡式溢洪道上的护面相似,包括:①混凝土过水表面受水流冲刷或高速水流的空蚀;②基础或回填土料受冲刷;③在面板下有扬压力发育。后两种破坏都是由于面板的接缝张开、错位而引起板下扬压力的上升,或者水压力从消能结构处经过通道进入面板下的排水系统而形成。

作者简介:汝乃华(1927—),男,江苏吴江人,教授级高级工程师,从事大坝安全工程管理和研究。

①张秀玲,文明宣,我国水库失事的统计分析及安全对策探讨,水利工程管理论文集第三辑,1991。

对此,在护面设计中需要注意防止。

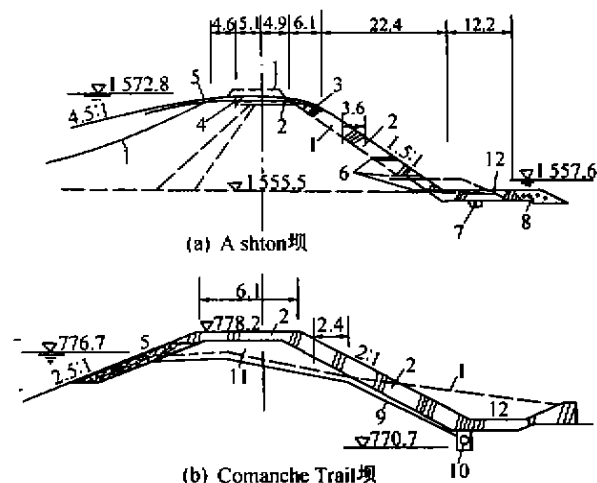


图1 两座美国小型土坝的漫顶防护布置
(坝坡比为水平:垂直)

1. 原坝体; 2. RCC 护面; 3. 钢筋混凝土面板; 4. 上游齿墙; 5. 抛石护坡; 6. 排水管; 7. 施工期排水; 8. 抛石消能工; 9. 排水反滤层; 10. 排水反滤层及 20cm 直径排水管; 11. 压实填土; 12. 消力池

设计内容一般包括: ①坝顶护面上游端的淘刷防护; ②坝顶护面的水流冲刷防护; ③坝下游坡面上的护面冲刷防护; ④护面下基础渗流的控制; ⑤护面坡脚受冲刷的防护。最后一项可与消力池和消能工的设计相结合。

1.1 水文因素

设计洪水是漫顶防护的重要前提, 必须首先确定设计和校核洪水规模, 然后通过调洪演算, 确定漫顶洪水流量、漫顶水深和历时等。防护的目的有两种: 一种是保证洪水能漫顶渲泄不致造成溃坝等重大损失; 另一种是允许洪水超过预定标准后溃坝, 但延长溃坝时间, 以使下游居民能及时撤退, 或与天然洪峰错开, 不使组合成更大的洪水灾害。一旦设计洪水、防护目的和工程建筑物的等级确定之后, 即可开展水力和结构的设计。

1.2 水力因素

设计人员必须尽可能掌握作用在 RCC 护面上的各种水力荷载, 这对于较高的土坝或者漫顶泄洪比较频繁的土坝, 尤其重要。主要的水荷载包括: 水流引起的正或负的压力, 地下渗流引起的扬压力和从裂缝渗入和由尾水形成的扬压力, 以及水流振动引起的动力荷载等。这些荷载的计算可以参照陡槽式溢洪道的面板设计进行。

如果下游坝坡的护面采用台阶状形式, 则水力荷载计算有两种方法: 一种是当水深和台阶高度之比很大时, 流水的曳引剪力可以作为体力作用在台阶上进行计算; 另一种是当水深仅略高于台阶高度时, 台阶的影响明显, 可用实测的测压管压力代表体

力, 此力作用在台阶上的两个分量, 可以按沿着水流方向和正交于水流方向的投影面, 将测压管的压力积分求得。这是一种考虑台阶上压力分布的更为常用的方法。当水流深度相对于台阶的高度比较大时, 两种方法可得出相同的结果。

图 2 示有水流从水库经过坝顶和下游坡面直到尾水处的流线形态, 可供设计参考。从图中可见: ①水库内的流线在达到坝顶上游边缘处开始收敛, 如果漫顶水深(H)和坝顶溢流宽度(L)之比, $H/L = 1/3 \sim 1/12$ 之间, 则该处的流线大致和坝顶平行。此时, 临界深度(控制点)将在坝顶下游的 $1/3 \sim 1/4$ 段范围内。确切位置将根据坝顶尺寸及其糙率决定。水流通过坝顶时, 流速会有增加但相对仍低于临界流速。②水流经过控制点后继续加速成为超临界流, 并开始转弯, 向坝的下游斜坡面流动, 流线在坝顶和斜坡的交点处集中形成负压区(见图 2 中的阴影部分), 有可能引起空蚀。一般坝顶和斜坡交接处的负压并不大, 但当坝的下游坡面陡于 $3:1$ (水平:垂直) 时, 负压会增大, 将坝顶下游的转角做成圆弧形能降低负压。③水流在斜坡面上不断加速, 有一部分能量消耗在沿程摩擦中, 在达到下游坝趾时, 对于一般土坝坝坡, 水流中仍有 80% 的能量需要采取措施消散。

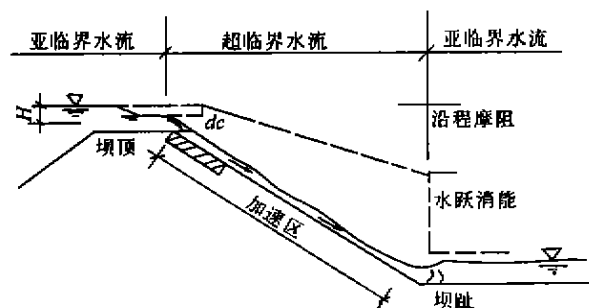


图2 土坝漫顶泄洪的水流状态

根据上述流态, 设计中应注意以下几点:

a. 应在坝顶及其上游坡附近采用抛石防护; 在坝顶的下游部位, 防护层要有足够重量, 用以抵御负压。为增加坝顶 RCC 面层的抗剪能力, 顶部 2~3 个浇筑层之间要用砂浆胶结, 因为这里层面上的法向压力很小。坝顶结构上还要有地下渗流的截水措施, 这可和坝顶防冲措施结合, 即设置上游截水齿墙以达到这双重目的(见图 1(a))。

b. 在护面下的扬压力可用排水系统控制, 排水的容量和出口的布置要适当。其细部设计中, 要注意防止或尽量减小在下游水跃和尾水区内的水压力变化, 经过某些通道传播到护面下部的可能性。如果采用台阶消能, 使台阶面向下游倾斜, 使台阶下游形成低压区, 并在这里布置排水出口, 则能有助于减小护

面下的扬压力,这种做法在理论上是可能的,但在施工上会增加困难。

c. 在下游坝趾要有消能工(见图1),其设计与一般溢洪道的消能设计相同,也可采用消能效果较好的台阶形坝面消能,例如在McClure坝上,用两侧导墙形成约束水流,模型试验表明,有53%的能量消耗在台阶形坝坡上,在设计泄流量 $468.5\text{ m}^3/\text{s}$ 和漫顶水深 3.1 m 时,台阶的高度分别取 0.3 m 、 0.6 m 、 1.2 m ,其消能效果差异很小。

RCC护面浇筑后很难避免裂缝发生,对于建成时间很长的土坝,固结和沉降大部分已完成,一般不会产生正交于水流方向的横向裂缝,如果坝坡护面筑成台阶形,则即使出现这种横向裂缝,台阶上的流态也可防止裂缝承受水力冲击,更可能发生的是平行于水流方向的细小收缩裂缝,通过裂缝渗入护面下的水量取决于裂缝的方向和尺寸,在排水系统达到饱和时,水压会使裂缝张开,引起极大的扬压力,所以护面下的排水系统设计十分重要。

1.3 结构因素

结构上要考虑的问题,大体上可以沿用常规的溢洪道陡槽、防渗齿墙、消力池、地下排水管、锚固技术等设计原理进行,对于中小土坝,现有RCC施工方法所要求的最小浇筑断面:即每一浇筑层的水平宽度 $2.4\sim 2.7\text{ m}$,层高 $0.23\sim 0.30\text{ m}$,用于下游坝坡上形成护面,其重量、刚度和强度都能够满足结构上的要求,一般不必再作力学分析和设计,当采用的RCC骨料和配合比良好时,可以避免收缩开裂,水力条件也良好。

对于高度超过 30 m 的土坝,护面设计中要作抗滑稳定分析,尤其对于坡度突变和坝趾坡脚部位要特别注意,在有些情况下,需要增大断面,设置边缘加固梁、剪切键、加配钢筋或锚筋等,对于护面覆盖面积大、过水流速高的情况,更要重视,此外,如果护面的浇筑面积大,还必须考虑由温度收缩引起的开裂问题,要考虑边界约束对温度变化的影响,采取温控防裂措施,但是,另一方面为避免不必要的浪费,在按照常规的溢洪道设计方法进行设计时,也要通过分析判断,对设计准则作一定的修改调整,因为溢洪道的设计准则以及安全系数,都比漫顶防护的要求高,除非后者也要求经常漫顶运行,而且不允许损坏。

1.4 岩土因素

在岩土方面,首先要对漫顶泄流是否会引起坝体冲刷甚至溃坝作出评估,为此,需要考虑坝的断面设计和材料分区情况,以及这些材料的特性,至于对护面材料的要求,则并无特殊性,它包括要对备制

RCC所需的骨料进行查勘和试验,当材料用量不大时,也可在市场采用商品料,即使骨料的级配条件不很理想,也要设法采用,对于局部地区使用的抛石护面或浆砌石料,也要进行查勘。

护面下的排水料或反滤料,必须用合适的材料,对于护面抗滑稳定分析中所用的材料强度参数也要认真确定,对防渗或防冲齿墙和消能工的地基条件要作研究,也要研究下游土石材料的抗冲刷特性。

另一个重要的岩土问题是要研究护面对坝内长期渗漏和渗流控制的影响,这对护面的稳定性和土坝的稳定性都很重要,在设计中一定要考虑能对已建排水系统和渗流控制设施进行维护和加固的可能。

护面对土坝稳定的直接影响取决于已有土坝的坝坡和坝体与护面的相对尺寸,因为坝内渗流条件会影响坝的整体安全系数,对于小坝,RCC面层是一个有相当规模的结构区,可以增加强度,改善渗流特性,例如在Ashton坝上,增设RCC护面,增加了下游坝面的稳定性,但对于大坝,RCC护面的影响可能很小,因为它既不是一项重大荷载,也不会影响渗流条件或坝坡的临界破坏条件。

2 施工方面

RCC护面的设计人员,必须熟悉RCC的施工方法,通常在不陡于 $1:1$ 的坝坡面上,可以用常规方法平铺RCC护面,不必用特殊模板,如要设置垫层或排水层,则铺筑后的坝面应修整到规定的坡度,实践证明:最好的办法是在每层铺筑前先在坝上切一道槽口,再铺浇RCC面层,但切槽相当费时,铺筑后的层面也要清洗以防污染,当分层铺筑出现变化,例如要构筑戽道或导墙时,则要有足够的半径用以周转铺料和碾压的机械设备。

当设计的护面采用台阶形时,其外形要和施工方法协调,台阶可用一般的模板形成,也可用超量铺筑然后再用手锯或其他工具切除多余部分,形成垂直面或斜面,如果在经济上采用模板合算,则还可考虑用一个铺筑层或者两个铺筑层形成一个台阶的问题,采用模板时,还要有工人用手铲随时清除靠近模板部位的大骨料和蜂窝,以使RCC面层外表平整美观,近乎垂直的台阶面可用打夯铺面机完成,但其厚度不能大于 0.23 m 。

如果需要,台阶的边缘可用手持打夯器或板式震动压实器修筑,台阶的下游面可与水平面成 60° ,这两种施工方法都不用模板,所以很难形成一条连贯的直线,为此需要对台阶的直线定出允许偏差,此外,对于这种台阶修筑方法,要先修筑一个试验段加以验证,并使设计人员掌握其适用范围。

2.1 设备和方法

在坝的下游面铺设 RCC 面层,对于普通的施工承包商,不需要增添新的设备或用新方法,施工中也未必降低水库水位或进行水下潜水作业。

对于小坝,在现场采用能连续按体积比配料的移动式拌和设备最适用。它能迅速拆迁和安装并制备 RCC 材料,但必须能经常进行校验和检查 RCC 出料的配比以保证质量。现场就地拌和还能缩短加水后到最终压实的时间。因为如果这段时间过长,RCC 的强度和耐久性会降低。拌和料从出口到铺筑仓面都用后卸式拖拉机或前端装料机运送。尤其在无适当道路可供车辆行驶时,也可以用皮带和料罐运载。至于铺料和压实则都用推土机和振动碾,对于大型振动碾无法达到的地点,可用小型手持式或轮式压实机操作。铺筑后的养护则可用水管或从水车上喷水进行。

2.2 施工时间

采用 RCC 护面的最大优点在于施工速度快。对于寒冷地区和受灌溉放水时间限制的工程,这一点尤其重要。有些小工程可以在两个 10h 的工作班中完成护面的铺筑。例如美国的 Spring Creek 坝上,3400m³ 的 RCC 只用 4 个双班工日,Goose Pasture 坝则更为紧迫,仅在 5d 内完成 3230m³ 的 RCC 浇筑。在一些较大的坝上,如 Upper Stillwater 和 Elk Creek 重力坝,在两个 8h 班或 10h 班里,铺筑了 7650m³ 的 RCC。

2.3 费用

RCC 的单价取决于其工程量的大小,因为不论工程大小,所需制备设备相同,如果这项费用分摊在较大的工程量上,单价可以降低。同时,开工之初设备安装调试期,生产率也较低,其影响对大工程要比小工程小,再则大工程场地宽裕、效率较高,总的生产率也会提高。因此,小型土坝的护面 RCC,由于其用量小,施工条件差,其单价要比大工程(例如重力坝)的 RCC 单价高很多。在美国,前者都在 40~100 美元/m³,而后者当 RCC 用量在 1~200 万 m³ 之间时,一般在 25~40 美元/m³ 之间。但即使如此,仍不影响 RCC 护面的优越性能。美国 30 座小型土坝上的 RCC 护面单价列于表 1,这些都是最低标的单价。

通常,骨料及其处理费用要比水泥和粉煤灰费用之和要大,所以在小工程上要降低单价,必须简化对骨料的要求和施工的操作工序。这比降低水泥用量更为重要。此外,采用模板制作台阶,也会增加费用和减低施工速度。

3 材料方面

3.1 RCC 的配比

确定 RCC 配比的目的是,是要求生产出一种能用

最经济的材料配合,和用振动碾压的方法施工,而满足其使用性能要求的混凝土。设计人员在选择材料和确定其配比时,必须记住这种 RCC 护面具有经常暴露在大气中经受风化而又不经常泄洪的特点。

由于制备这种更为干硬的 RCC 时,不能掺用适量的加气剂,其耐久性只能与其抗压强度相关,也即直接和其干容重成比例。建议 RCC 护面的 28d 最低抗压强度,对于只受少量冻融循环的地区,要用 14.5 MPa,而对于常受冻融循环的地区,则用 20.7 MPa。当骨料的质量较高和级配良好时,其水泥用量分别用 148 kg/m³ 和 193 kg/m³,即可满足耐久性的要求。如果骨料质量较差,或级配不良,则要用更多的水泥。

以上建议是假定护面不经常泄洪过水和水流中含磨损料较少的情况,并允许表面有少量风化和冲蚀出现。因为小坝上的 RCC 护面厚度都由施工需要的最小施工宽度(一般为 2.4m)决定,它已大于设计所要求的厚度。

3.2 RCC 的配比概念

在开发筑坝用的 RCC 工艺过程中,出现两种不同概念的配比方法:一种是沿用传统的混凝土配比概念,称作“混凝土”法,它要求固化后的混凝土其强度和其它性能符合传统的水灰比规律(即水灰比越低,强度越高);另一种是沿用常规土壤压实技术和土的压实由含水量控制的概念,称作“土”法,其配比的目的是在试验室内确定一个最优含水量,使之和现场用振动碾压得到的压实效果和容重相当,通常用修正的普氏试验(ASTM, D-1557)进行。

虽然两种方法都能生产出无坍塌度的混凝土,但采用“混凝土”法得出的配合料,要比“土”法的有较大的稠度,它们的主要差异是前者有足够的灰浆,经过振动后可以充填骨料间的空间,而后者所有空间在压实后并不被充填。绝大多数漫顶防护的 RCC 都用“土”法制备,因为在一般土工试验室里容易制定这种配比设计,“土”法配比不需要有一个规定不变的骨料级配,这对小型工程也是比较方便的,否则不仅很费钱而且很难做到。

不过,现在有一种弥合两种概念之间的差异的倾向,即在试验室内用“土”法根据选用的骨料和胶合料的用量,确定其最优含水量,然后在施工时,增加 0.5%~1.0% 的含水量。因为 RCC 所需要的含水量是指在施工碾压的时候,但在运送和铺料过程中,配合料因蒸发作用 and 水泥水化作用,需要附加水量。再则在运送和压实时增加些水量,对强度也不会有很大损失。

3.3 原材料

a. 骨料. 对于暴露在大气中的 RCC, 其骨料的质量要求与常规混凝土相同. 通常, 除非料源已有采用过的记录, 否则一定要进行骨料的取样试验, 以确定其适用性和是否有骨料-碱反应. 合格骨料的运距越近, 材料的费用越低.

料源确定后, 下一步是定出生产需要级配的骨料应处理的数量, 虽然过去曾在一个工程上用过几种不同的级配. 但按“土”法制备时, 推荐用以下骨料

级配: 最大骨料尺寸 38 mm, 大约有 40% 砂通过 4 号筛(4.75 mm), 大约 4% ~ 8% 的细料通过 200 号筛(0.075 mm). 据此, 可以生产出离散性低、容易压实并在碾压后具备足够强度的 RCC.

对于用量少的工程, 最经济的办法是: 就地采掘骨料, 使之通过 38 mm 的筛, 除去超径部分, 并加入更多的水泥以弥补骨料级配的不足. 同样, 小型工程上骨料储存超过 2 仓, 再混合成规定级配的办法是不经济的. 很明显要求骨料级配的范围越窄, 满足这

表 1 30 座美国小型土坝的 RCC 漫顶护面资料统计

坝名	所在州	建设年份	坝高/m	下游坝坡 ^a	单宽流量/(m ³ ·s ⁻¹)	漫顶水深/m	漫顶历时/h	防洪标准 PMF/%	RCC 用量/m ³	最大骨料粒径/cm	水泥+粉煤灰/(kg·m ⁻³)	RCC 单价/(美元·m ⁻³)	RCC 铺设法	台阶处理	备注
Toutle River	华盛顿	1980	11.6	4.0:1			264		13762	3.8	297+0	48.4	沿斜面		①
Brown Wood	德克萨斯	1984		2.0:1	2.30	1.68	6	100	1070	3.8	184+0	55.0	台阶形	常规	②
Spring Creek	科罗拉多	1986	16.2	2.3:1	4.10	1.37	5	100	3700	3.8	133.5+0	48.3	台阶形	常规	③
Harris Park	科罗拉多	1986	5.5	3.0:1	8.50	3.05		100	1758	3.8	169+0	61.8	台阶形	修成斜面	④
Comanche Trail	德克萨斯	1988	6.1	2.0:1	5.60	1.83	5.5	100	4970	3.8	138+23	51.0	台阶形	常规	⑤
Addicks	德克萨斯	1988	14.8	3.0:1	0.66	0.67	28	100	43350	3.8	173+145	103.3	沿斜面		
Barker	德克萨斯	1988	11.1	3.0:1	1.00	0.67	33	100		3.8	173+145	103.3	沿斜面		
Bishop Creek	加利福尼亚	1989	12.5	3.0:1	2.20	0.92	18	70	3058	3.8	116+116	114.4	台阶形	常规	⑥
Goose Lake	科罗拉多	1989	10.7	1.0:1	0.84	0.73	5	75	3211	7.6	214+0	66.9	台阶形	有模板	⑦
Boney Falls	密歇根	1989	7.6		9.30	3.05	38	68	3708	1.9	88.4+109	77.8	台阶形	有模板	⑧
Comanche	科罗拉多	1990	14.0		9.40	3.05	4	75	2676	3.8	178+0	87.6	沿斜面		⑨
Kemmerer City	科罗拉多	1990	9.5	2.5:1	2.20	1.10	4	50	3135	7.6	260+0	98.2	台阶形	碾压斜面	⑩
Thompson Park	德克萨斯	1990	9.2	4.0:1	2.80	1.31	12	50		3.8	196+0	68.3	台阶形	切成直面	⑪
White Cloud	密歇根	1990	4.6	2.5:1		0.46			765	1.9	148+113	108.6	台阶形	常规	⑫
Rigbtown	宾夕法尼亚	1991	18.3	2.75:1	5.20	2.14	经常	100	4817	3.8	135+103	60.4	台阶形	切成 0.5:1	⑬
Saltick	宾夕法尼亚	1991	33.6	3.0:1	5.00	2.01	19	100	8487	4.5	69.4+74	103.9	沿岸坡面		⑭
Ashton	印第安纳	1991	18.3	1.5:1	11.30	3.66	240	100	5887	1.9	178+60		台阶形	有模板	⑮
Lake Lenape	新泽西	1991	5.2	2.5:1		0.92	55	100	2332	2.5	175+0	91.6	台阶形	常规	⑯
Goose Pasture	科罗拉多	1991	19.8	3.0:1	8.80	3.05	24	75	3234	3.8	196+0	62.6	台阶形	碾压 0.6:1	⑰
Holmes Lake	德克萨斯	1991	9.5	4.0:1		1.53	5	26	2141	6.4	178+0		沿斜面		
White Meadow	新泽西	1991	6.1	2.5:1		0.43	12	50	765	2.5	175+0		台阶形	常规	⑱
Battle Reservoir	乔治亚	1992	13.1	2.5:1	12.70	4.03	8	100	6996	3.8	132+96		台阶形	保持 0.6:1	⑲
Lake Diversion	德克萨斯	1993	25.9	2.75:1	29.30	6.22	144	100	3555.2	3.8	124.6+30	39.5	台阶形	滑动模板	⑳
Horsestheif	南达科他	1992	19.8	2.0:1	1.60	1.30	4.7	100	4779	5.1	193+0	65.4	台阶形	常规	㉑
Meadowlark Lave	怀俄明	1992	8.5	3.0:1	11.00	3.10	12.7	100	1950	5.1	193+0	86.7	台阶形	常规	㉒
Phillipburg	宾夕法尼亚	1992	6.1	2.0:1	1.30	2.10	15	100	1070	2.5	175+0		台阶形	有模板	㉓
North Potalo	田纳西	1992	10.7	5.0:1	31.60	6.10	10	100	3440	3.8	101+65	85.7	台阶形	有模板	㉔
Lima	蒙他那	1993	16.5	2.0:1	5.70	2.80	264	100	113.5	5.1	247.4+0	67.5	台阶形	切成 1:1	㉕
Rosebud	南达科他	1993	10.1	2.0:1	5.10	2.10	8	16.4	3976	1.9	92+78	101.7	台阶形	常规	㉖
Umbarger	德克萨斯	1993	12.2	3.0:1	20.00	5.30	24	100	21790	3.8	196+0	60.9	台阶形	碾压 0.6:1	㉗

注: ①钢边网加筋; ②每层 22.9cm × 2.44m; ③每层 30cm × 2.4m; ④每层 30cm 高; ⑤每层 30cm × 2.44m; ⑥每层 30cm × 2.75m; ⑦每层 22.9cm × 2.75m; ⑧每层 30cm 高, 盖土; ⑨每层 30cm 高; ⑩每层 30cm × 2.44m; ⑪每层 30cm × 3.05m; ⑫每层 15cm × 2.44m; ⑬每层 30cm × 7.32m; ⑭每层 30cm 高; ⑮每层 30cm × 3.05m; ⑯每层 30cm × 2.75m; ⑰每层 30cm × 2.44m; ⑱每层 30cm × 2.75m; ⑲每层 30cm × 2.75m; ⑳每层 22.9cm × 2.44m; ㉑每层 30cm × 2.44m, 盖土; ㉒每层 30cm × 2.44m, 盖土; ㉓每层 30cm × 2.75m; ㉔每层 30cm 高; ㉕每层 30cm × 2.75m; ㉖每层 30cm × 2.75m, 盖土; ㉗每层 30cm × 2.75m; * 指水平方向与垂直方向之比。

种要求的处理费用将越贵。

b. 胶结料. 硅酸盐水泥应符合 ASTM, C-50 的规定, 掺合料例如粉煤灰, 应符合 ASTM, C-618 的规定. 对于漫顶防护用的 RCC, 通常只用硅酸盐水泥而不用粉煤灰, 因为护面不厚温控要求不高, 再则在小型工程上常要求在储存、配合和控制过程中只用一种胶结料. 近几年, 还有人提出需要用早期强度较高的 RCC, 以抵御早期的冻融影响。

c. 水和掺合料. 任何无明显气味的水都能用来制备 RCC, 对于常规混凝土用过的水, 尤其如此. 在按“土法”制备的 RCC 中, 加入加气剂, 减水剂或缓凝剂成效很少, 因为拌和料中所含水量已很少, 但按“混凝土”法制备的 RCC 中加入这些掺合料也有成功的. 但其剂量要比有坍落度的混凝土要高。

d. 拌和物的配比. 美国 30 座小型土坝上采用 RCC 护面的配比, 列于表 1, 可供参考. 对于用量大的 RCC 工程, 则都应进行多种水泥和粉煤灰用量的方案比较研究, 并据此确定施工中采用的配比. 对于用量少的 RCC 工程, 则由于时间和费用的限制, 骨料来源不明, 往往限制进行全面拌和配比的研究. 正是由于这些原因, 才促使设计人员为 RCC 定出一个较为保守的水泥用量. 实际上增加水泥用量的费用, 可以被免去进行拌和配比试验的费用抵消。

4 结 语

20 世纪 80 年代以来, 美国已在 30 座小型土坝上采用 RCC 护面(见表 1), 在洪水期漫顶泄洪, 运行情况良好^[3]. 美国这批小型土坝的运行实践证明, RCC 护面是一种经济可靠的漫顶泄洪措施, 具有广泛的发展前景. 美国垦务局已和科罗拉多大学合作进行原型水力试验, 据以制订设计准则, 而且也在一些较高的土石坝上采用这种技术. 我国小型土坝众多, 防洪安全亟待改进、提高, 建议尽早引用这一技术进行试点, 以便积累经验。

参考文献:

- [1] 李君纯. 我国土石坝的安全概况[J]. 水利工程技术, 1989(5): 7~12.
- [2] 牛运光. 浅议提高水库防洪标准的措施[J]. 水利管理技术, 1996(5): 1~2, 23.
- [3] Francis G, Mclean Z, Kenneth D Hansen. Roller Compacted Concrete for Embankment Overtopping Protection[J]. Dam Rehabilitation Practice, 1993, 188~209.
- [4] 吴宪生. 东西关台阶溢流坝的水力特性[J]. 水电工程研究, 1995(2)
- [5] 肯尼斯·汉森, 兰德尔·巴斯. 老坝如何再现生机[J]. 国际水力发电, 1999(6)

(收稿日期: 2000-11-23 编辑: 马敬峰)

·简讯·

“工程科技论坛”暨“现代测控与信息技术在土木工程中的应用学术研讨会”在京召开

由中国工程院土木、水利与建筑工程学部和信息与电子工程学部联合主办, 河海大学与武汉大学协办的“工程科技论坛”(第九场), 以及河海大学与中国工程院土木、水利与建筑工程学部联合主办的“现代测控与信息技术在土木工程中的应用学术研讨会”于 2001 年 5 月 23 日至 25 日在北京中国科技馆隆重举行。“工程科技论坛”是中国工程院主办的高层次、高水平学术盛会, 一般每年举行一次. 本次论坛的宗旨是促进土木工程领域方向性、前沿性的重大科技问题研究以及高新技术在土木、水利建筑工程中的应用. 本次学术活动有近 300 位来自全国各个领域的专家参加, 中国工程院院长宋健院士亲自到会并听取报告, 中国工程院土木、水利与建筑工程学部及信息与电子工程学部的领导、院士 20 余位参加了研讨, 国内各行业的一大批中青年科技专家走上了讲坛。

本次学术活动共收到论文 50 余篇, 内容涵盖: 智能传感高新技术开发和研制; 远程网络通讯在水情测报系统中的技术应用; 岩土工程中信息管理新技术应用; 大坝安全综合评价专家系统; 智能数据处理系统与工程智能; 无损检测技术在土木工程中的应用; 未来的结构系统; 热安全工程中的高技术及其应用; 水利水电工程爆破有害效应监测及其防护对策; 智能化交通工程; 二滩在线监测系统; 爆炸次生洪水波灾害的研究与防护; 光纤传感监控技术及其在水电工程中的应用; 拱坝非线性仿真分析与设计. 学术研讨会上共有 6 位院士、33 位专家教授就我国测控与信息技术在土木工程中的应用作了报告, 交流了许多学术前沿和重大科技问题的成果, 提出了今后工作的方向. 本次论坛及学术研讨会将对我国土木工程的信息化和土木工程的现代化产生重大的影响。

(邬莹供稿)