

堆石坝施工期过水稳定性初步研究

王卓甫 扬建基 王汝弼

(河海大学,南京,210024)

提 要 本文在阐述堆石坝施工期过水特性的基础上,提出了堆石坝施工期过水渡汛的保护范围及措施。并根据水力试验资料,给出了堆石坝下游侧坝肩和下游坡面上保护结构在水力作用下的稳定计算公式,具有实际意义。

关键词: 堆石坝 施工 钢筋笼 稳定临界流 稳定性

1 前 言

在我国西南地区,今后拟兴建一批高堆石坝,特别是钢筋混凝土面板堆石坝。在西南山区性河道上建造高堆石坝,工程量大,洪峰流量大,在一个枯水期内不可能将坝体填筑到防洪高程,经济和有效的办法是在施工期让坝体过水,而这必须设置可靠的加固保护措施。

堆石坝施工期过水保护有以下特点:

(1)堆石坝施工期过水保护设施必须在汛前完建,在汛后拆除(或作为坝体的一部分),其保护结构越简单越好。

(2)高堆石坝施工,一般要求在开工后的第一、二个汛期过水,而此时坝面尺寸很大,即要保护的面积很大。

(3)堆石坝,特别是钢筋混凝土面板堆石坝,下游边坡一般较陡,给坝下游坡面保护带来了一定的难度。若采用改变坝下游坡度的办法来提高保护结构的稳定性,不经济。

因此,根据堆石坝施工期过水的特点,研究其保护措施是十分必要的。



图 1

2 堆石坝施工期过水的水流特性及失稳部位分析

堆石坝施工期过水的水流特性,随上游来水流量而变化,易失稳的部位也随之而变化。

当河道流量增大,坝上游水位抬高,达到如图 1 所示时,水流通过坝体溢渗流向下流,此时的水流现象叫溢渗流。它对坝体稳定的影响部位是坝的下游坡,在此不作详细研究。

当流量继续增大,上游水位不断提高,进而坝面出现溢流。随着坝面溢流量的不断增大,一般会出现图 2 中 a、b、c 三种典型流态。

在下游水位不太高的情况下,坝下游发生远驱式水跃,如图 2a。这种情况易失稳的部位是坝下游坡面,下游坡面上的块体在渗透水流和面流的作用下发生滑动或滚动。

在一定的流量出现后,且下游水位有了一定的高度,坝下游发生临界水跃,如图 2b。此时,流量已较大,坝面上水流有一定的流速,坝面块石在面流的作用下有可能产生滑动和滚动。下游水位以上的下游坡面,在面流和渗流的作用下也易产生滑动或滚动失稳。而坝下游水位以下的下游坡面则稳定性相对要好些。

当流量较大,且下游水位超过坝顶,此时易出现波状水跃,如图 2c。在这种情况下易失稳的部位是坝面,而坝下游坡面的块体有较好的稳定性。

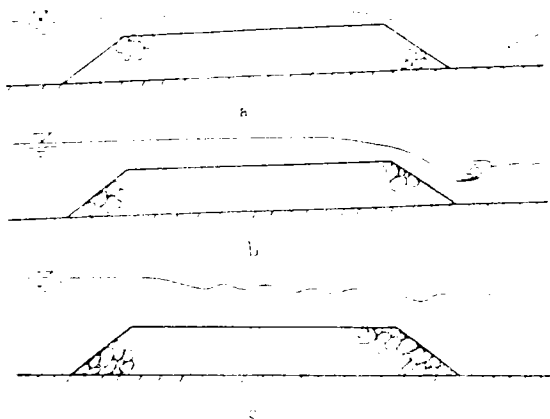


图 2

显然,流量越大,并不是堆石坝施工期过水的稳定性越差。在进行堆石坝施工期过水设计时,并不能把设计最大流量作为堆石坝过水稳定的设计条件。要进行具体分析,选择不同流态对应的水力条件分别作为坝面和下游坡面稳定的设计依据。

3 坝面过水轮廓对稳定的影响

试验研究表明,选择合理的坝面过水轮廓布置,能改善过坝水流流态,降低过水保护工程造价或提高过水的安全性。

常见的轮廓布置有如图 3 三种。图 3a 的坝面向上游倾斜。当水流通过该断面时,坝面上块石的支承条件和渗流作用的影响均较其它情形要好,对坝面块石的稳定性较有利。其缺点是增加了下游坡的长度,若需保护,其费用肯定会增加。

图 3b 的坝面向下游倾斜。它的优缺点恰好和图 3a 相反,对坝面块石稳定性不利,而下游坡的长度减少了,若下游水位较高,能使坝面下游侧 B 处在下游水位以下,则下游坡

的稳定会好些。

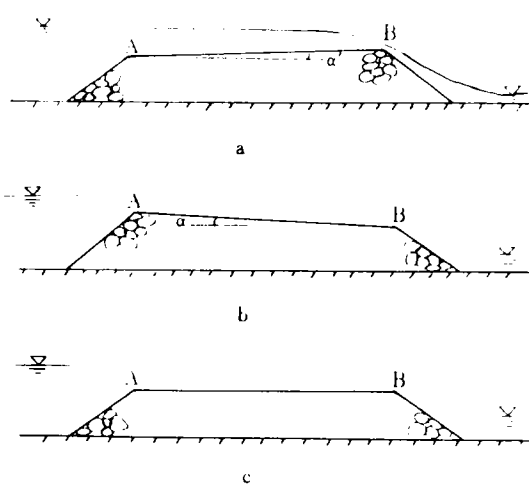


图 3

图 3c 的坝面水平。它的特性介于图 3a 和图 3b 之间。

选择何种坝面轮廓作为过水断面,决定于过水流量,下游水位、坝面块石尺寸和下游保护结构等因素。^[1]

试验研究表明,堆石坝施工期过水时,坝面下游侧(图 3 中 B 处附近)和坝下游边坡一般是保护的重点。当坝下游坡脚附近河床是砂砾石覆盖层时,下游坡脚附近 20~40m 范围内的河床也是保护的重点。这些保护重点,在采用图 3a 和图 3b 坝面轮廓布置时,尤应引起重视。

4 堆石坝施工期过水保护措施

根据试验比较,本文提出下列几种经济有效的保护措施。

4.1 坝面保护

上文已述及,堆石坝施工期过水时,其坝面尺寸较大,且在汛期过后要立即进行填筑。根据这种情况,选择大块石护面结构较为经济合理,当坝面流速较大时,选择图 3a 所示坝面轮廓布置一般即能满足要求

4.2 坝肩保护

在选择图 3b 坝面布置时,坝肩的保护更

为重要。经比较,选择钢筋笼加锚筋保护措施和钢筋混凝土板加锚筋保护措施较为经济、可靠、有效,如图4所示。用钢筋笼保护坝面下游坝肩的优点在于渡汛期过后,对钢筋笼稍作处理就可继续向上填筑;缺点是,若河流有漂浮物下漂时,易使钢筋笼局部地方损坏或局部网格变形。用钢筋混凝土板作坝肩保护时,虽漂浮物对它破坏的可能性较小,但汛后继续向上填筑时,需要将其处理(拆除或炸毁)。

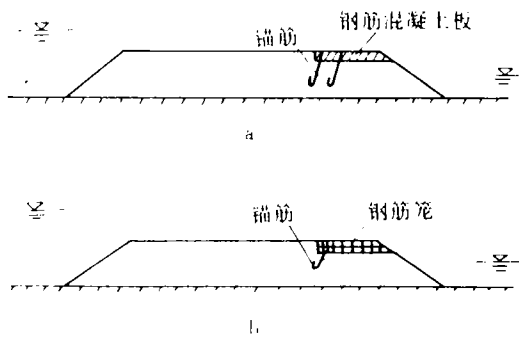


图4

4.3 坝下游坡的保护

经试验比较,采用如图5所示的保护结构较为可靠有效,施工也并不复杂。这种结构的下部是用钢筋笼加锚筋的结构^[2],其上部是钢筋混凝土板加锚筋结构,在坝下游坡趾处并设有混凝土支墩。

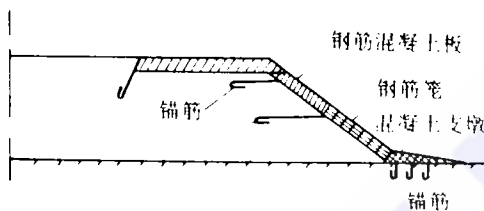


图5

工程实践和试验表明,若下游坡面选择单一的混凝土板保护结构,由于混凝土板不透水,即使在混凝土板上加孔,其透水性也不理想。因此,混凝土板受到较大的渗透压力,对其稳定性不利。但混凝土板护面结构的最大优点是,能较好地防止漂浮物对其的破坏。

实践也表明,若下游面全部采用钢筋笼护面结构,当然透水性基本上和坝体相同,对抗渗稳定较有利,但漂浮物极易对钢筋笼引起破坏。根据工程实例,由于漂浮物而使下游钢筋笼破坏的部位常在堆石坝下游坡的上部,采用图5这种混合护面结构后,把抗漂浮物破坏性能较好的混凝土板放在上部,因而使下游坡面具有较好的抗漂浮物破坏的性能。根据试验表明,下游坡面若采用混凝土板护面,其坡下部混凝土板受到的渗透压力较大,对混凝土板稳定不利,而采用钢筋笼,因具有较好的透水性,相对来说可提高抗渗透的稳定性。因此,采用图5这一混合护面结构,可充分利用混凝土板和钢筋笼各自的优点,提高护面结构的可靠性。

试验还表明,由于堆石坝下游坡较陡,若仅将混凝土板或钢筋笼放在坡面上作为保护结构,它们的稳定性很差,在发生面流前混凝土板或钢筋笼就会沿下游坡滑动而失稳,即在渗流的作用下就会使它们失稳。因此必须设置锚筋,锚住混凝土板或钢筋笼,同时下游坡脚前设置混凝土支墩,以提高护面结构的可靠性。

5 保护结构稳定性分析

5.1 坝面大块石护面

5.1.1 图3b所示坝面护面块石的稳定性

坝面块石的稳定临界流速可直接借用原苏联C. B. 伊兹巴什的研究成果^[3],即坝面上平均流速 V 用下式计算。

$$V = y \sqrt{2g \frac{\gamma_m - \gamma_w}{\gamma_w} d} \times \sqrt{k \cos \alpha - \sin \alpha}, \quad (\text{m/s}) \quad (1)$$

上式中, α ——向下游倾斜坡角; γ_m 、 γ_w ——分别为块石及水的容重 kN/m^3 ; k ——水下块石有效重量在垂直边坡向与平行边坡向之分力对转动点之力臂之比; d ——块石当量直径, m ; y ——稳定系数,根据文献^[3], y 取

1.2。

式(1)也可转化为下列形式

$$d_s = V^2 / [y'^2 (2g \frac{\gamma_m - \gamma_w}{\gamma_w}) (k \cos \alpha - \sin \alpha)], (m) \quad (1')$$

5.1.2 图 3a 所示坝面护面块石的稳定性

图 3a 所示坝面轮廓布置,其坝面块石的稳定计算不能直接套用式(1)或(1'),因这时坝的渗流和坝面倾角对其上块石稳定的影响和对图 3b 所示坝面上块石稳定的影响不同。经试验,其稳定性的计算公式为:

$$V = y' \sqrt{2g \frac{\gamma_m - \gamma_w}{\gamma_w} d_s} \times \sqrt{k \cos \alpha' + \sin \alpha'}, (m/s) \quad (2)$$

$$\text{或 } d_s = V^2 / [y'^2 (2g \frac{\gamma_m - \gamma_w}{\gamma_w}) (k \cos \alpha' + \sin \alpha')] (m) \quad (2')$$

式(2)和式(2')中, y' ——坝面向上游倾斜时的稳定系数; α' ——坝面向上游倾斜的倾角;其它符号意义同式(1)。

y' 通过试验资料取得,由图 6 示分析结果,得 $y' = 1.27$ 。

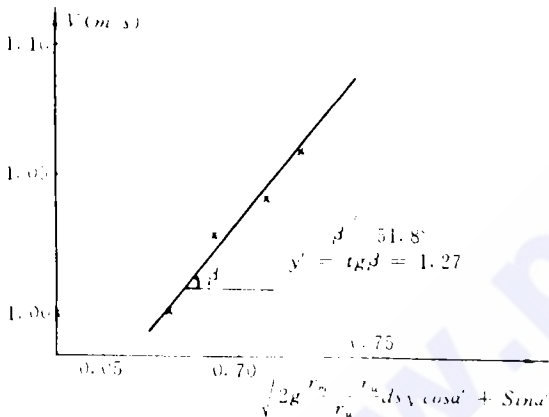


图 6

图 6 中试验结果是在试验水槽中得到的,试验用块石当量直径为 2.0cm,坡面向上游的倾角 α' 在 $0^\circ \sim 5^\circ$ 之间

5.2 坝肩保护

5.2.1 钢筋笼坝肩保护的稳定性

钢筋笼作坝肩保护,如图 4b 所示。在研究其稳定性时,暂不考虑锚筋的作用,根据其自身稳定,求出稳定临界状态的抗冲流速,然后把锚筋的作用考虑在内,确定其安全性。坝肩用钢筋笼保护时,钢筋笼的受力有:面流拖曳力 P 、渗流作用力 P' 和浮重力 G ,如图 7 所示。

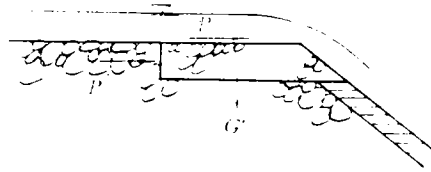


图 7

根据我们以前对长条形物体水力稳定性研究的成果,此时钢筋笼水力稳定临界状态流速的计算公式可表达为:

$$V = K \sqrt{2g \frac{\gamma_m - \gamma_w}{\gamma_w} L} \quad (3)$$

式中 L ——钢筋笼长度, m ; K ——稳定系数,和钢筋笼长 L 及高 a 有关,其它符号意义同前。

$$K = f(L/a) \quad (4)$$

由试验得到如图 8 所示结果,进而得到 $K \sim L/a$ 的具体表达式:

$$K = \frac{0.193}{(L/a)^{2.74}} + 0.076 \quad (4')$$

式(4')是在实验室试验的基础上得到的, a 、 L 的取值范围分别是 $3 \sim 6cm$ 和 $3 \sim 21cm$ 。

5.2.2 混凝土板坝肩保护的稳定性

初步试验表明,混凝土板作坝肩保护时,其稳定特性和钢筋笼作坝肩时的稳定性相近,可借用式(3)和式(4')进行稳定性计算。

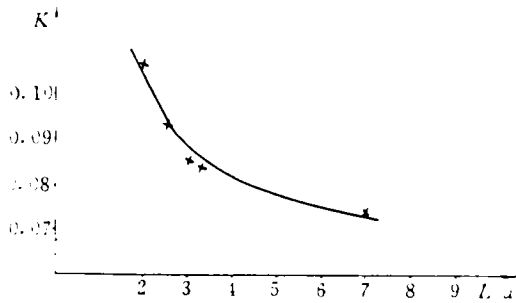


图 8

5.3 坝下游坡保护

堆石坝的下游坡一般较陡,将单个钢筋笼或混凝土板放在坡面上,如图 9 所示。钢筋笼 A,在坝面出现溢流之前,即仅在渗透力的作用下,它们就会发生向下滑动。因此必须采用加锚筋和坡脚加混凝土支墩的办法来提高钢筋笼或混凝土板的稳定性。即如图 5 所示结构。

在钢筋笼或混凝土板稳定计算中,可把锚筋考虑在内,而将坡脚混凝土支墩作为安全性考虑。

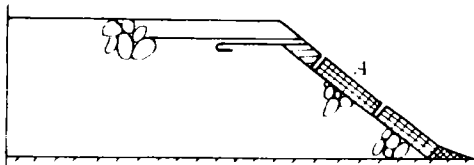


图 9

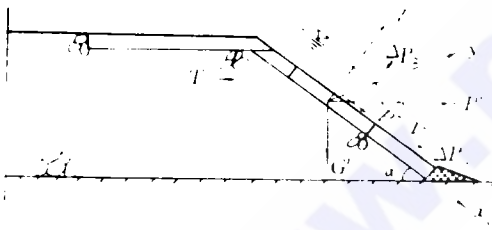


图 10

坡面上钢筋笼或混凝土板的受力情况如图 10 所示。它们是水流曳力 τ 、渗透力 P 、沿坡面向动水压力 Δp_x 、垂直于坡面的动水压力 Δp_z 、自浮重 G 、锚筋拉力 T 和摩擦力 F 。

根据力的平衡条件,若求混凝土板或钢筋笼在稳定临界状态下钢筋的拉力 T ,则有:

$$T = (GF \sin \alpha + P + \Delta p_x + P' \cos \alpha) / \cos \alpha \quad (5)$$

若已知钢筋拉力 T ,求安全系数 R ,则有:

$$R = \frac{G \sin \alpha + P + \Delta p_x + P' \cos \alpha}{T \cos \alpha + F} \quad (6)$$

若已知稳定安全系数 $R > 1$,求钢筋拉力 T ,则有: $T = (G / \sin \alpha + P + \Delta p_x + P' \cos \alpha - FR) / R \cos \alpha$ (7)

上述各式中 $P, P', \Delta p_x, G, F$ 用下列各式计算。

$$P = \tau b l = \gamma_w h J b l \quad (8)$$

式(8)中, h ——坡上水深, m ; J ——平均坡能。其它符号同前。

$$P' = \gamma_w J_p a b l \quad (9)$$

式(9)中, $J_p = Z_p / L_p$, Z_p ——坝顶到下游水面垂直高度^[2], m ; L_p ——坝顶上游侧到坝下游坡水面处距离, m 。

$$\Delta p_x = \lambda_x \frac{V^2}{2g} b l \quad (10)$$

式(10)中,取 $\lambda_x = 0.02 \sim 0.06$; V ——坡面平均流速, m/s 。

$$G = (\gamma_m - \gamma_w) a b l \quad (11)$$

对于钢筋笼,

$$G = (\gamma_r - \gamma_w)(1 - n) a b l \quad (12)$$

对于混凝土板, $G = (\gamma_c - \gamma_w) a b l$ (13)

其中 γ_r ——钢筋笼填石容重 kN/m^3 ; γ_c ——混凝土容重, kN/m^3 ; n ——钢筋笼内填石孔隙率; γ_w ——混凝土容重, kN/m^3 。

$$F = [G' \cos \alpha + (P + \Delta p_x) - P' \sin \alpha] f \quad (14)$$

其中 f ——摩擦系数,混凝土板护面时取 $0.45 \sim 0.55$,钢筋笼护面时,取 $0.5 \sim 0.6$ 。

6 结语和建议

1. 堆石坝施工期过水的特点是保护面广

量大,汛期过水后还要继续填筑,下游坡较陡(不改变原设计),根据这些特点选择保护措施具有实际意义。

2. 堆石坝过水时选择不同的轮廓布置,对选择保护结构,确定保护重点,以及保护结构的经济性和可靠性均有影响。

3. 一般而言,下游坝肩(坝面下游侧)、坝下游坡和坝下游坡脚附近河床(若是非岩基型)是保护的重点。三者的稳定性相互联系,互为一体。坝面下游侧坝肩采用混凝土面板加筋结构或钢筋笼加筋结构具有较好的经济性和可靠性。下游坡面上部采用混凝土板加筋结构和下部采用钢筋笼加筋结构。充分利用了这两种结构的抗漂浮物冲击能力强和渗透性好的特点。因此,采用这种混合保护结构

具有较好的可靠度,施工也方便。

4. 过水保护结构计算,本文已做了一些工作,并用实验室的试验资料取得了一些结果,可供参考。这些初步的工作,尚待进一步的研究,如模型与原型的关系等问题有待进一步探索。

参 考 文 献

- 1 郭宗彦. 国外过水土石坝的新型护面结构. 水力发电, 1992;11月
- 2 夏明耀. 过水堆石围堰铅丝笼护面的稳定分析. 武汉水利电力学院学报, 1981;第4期
- 3 C. B. 伊兹巴什. 河道截流水力学. 黄河三门峡工程局译, 1964年
- 4 肖焕雄等. 过水堆石围堰下游边坡的稳定性研究. 水利学报, 1987;第1期

(收稿日期:19930402)

Preliminary Study on Stability of Rockfill

Dam when Passing water during construction Period

Wang Zhuofu Yang Jianji Wang Rubi

Abstract Features of water passage during rockfill dam construction is described here, therefrom, safeguard range and measures in flood season during rockfill dam construction are presented. Based on hydraulic test data, stability computation formula under hydraulic effects for safeguard structure at downstream abutment and downstream slope is provided. It is very realistic.

key words rockfill dam, construction, reinforcing cage, steady critical flow, stability.

凉滩电站在前进

在邓小平同志题写站名10周年的前夕,我走访了广安凉滩电站。说到凉滩,我便记起了咏它的一首歌谣。“凉滩原是烂坝滩,礁多流急鬼门关。船破人亡悲歌起,妻啼儿哭人声怨。改革开放春潮涌,劈江截流建电站。船闸洞开千帆过,水系银珠不夜天”。这首歌谣勾勒了今昔凉滩的变化。80年代初,改革的春风吹拂着中华大地,广安县委、县政府热烈响应党中央建设能源的号召,于1982年12月开工兴建,在离广安县城64km的渠江中游的广兴镇六堡村境内的“凉滩电站”,第一期工程装机两台,设计容量为7000kW。1984年8月30日,邓小平同志闻讯家乡人民劈江截流建电站,便欣然命笔题写了“凉滩电站”站名。参加凉滩建设的3000多名

干部、工程技术人员,驻军和民工不畏严寒酷暑,夜以继日地斗洪水、战恶滩,实干苦干,缩短工期半年,于1985年6月提前竣工投产发电。它给凉滩人脱贫致富增添了动力,给广安百万人民发展生产、方便生活带来了福音,给广安各项建设事业注入了新的活力。10年来,开发、建设凉滩的拓荒者们,一代有志气,有作为的年轻人,他们不辜负总设计师的期望,在荒芜的凉滩东岸建成了花园式的电站。凉滩电站截至1994年5月底止,已累计发电4.55亿kW·h,创产值3100余万元,利润1650万元,创社会效益约18亿元,为实现邓小平同志“一定要把广安建设好的嘱托,作出了重要的贡献。

(广安县政协 于业大)