

文章编号:1007-6492(2001)03-0014-03

陆浑灌区填方坝局部稳定分析

王 博, 吴建平

(郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 陆浑灌区运行 10 多年来, 在豫西抗旱斗争中发挥了巨大的作用。由于群众性施工, 运行期间事故率高, 特别是灌区的数百座填方坝, 原施工质量较差。针对填方坝的局部稳定问题, 利用有限元方法计算多种方案的渗流要素, 以及坡面自由出渗和坡面淹没出渗情况下的临界坡降值, 分析了填方坝局部稳定状况, 认为基本不能满足局部稳定要求, 主要原因是: 施工质量差, 坝体密实度不够, 裂缝多且贯通, 使渗流流速和水力坡度偏大, 冲起坡面上料而失稳。解决方法是通过灌浆等措施增大坝体密实度, 坝面增设滤层或培厚。

关键词: 土坝; 渗流计算; 稳定分析; 渗流控制

中图分类号: TV 432 **文献标识码:** A

0 引言

陆浑灌区位于豫西山区, 面积灌区由总长度达 210 km 的五条干渠组成。该工程于 1970 年 2 月动工兴建, 由沿途各县(市)组织群众性施工, 施工质量差。特别是灌区的数百座填方坝, 有的坝高 30 m 左右, 有些仅有几米高。填方坝压实度差, 干么重低, 质量失控, 虽然经过一期加固(坝体培厚、灌浆等), 目前仍然存在问题, 主要是坝体的稳定性。填方土坝在渗流作用下破坏的形式分为: 因出渗坡度过大, 使坡面发生变形而失稳, 称为局部稳定问题; 以及渗流场内孔隙水压力作用下的坝体整体滑坡而破坏, 称为整体稳定问题, 本文仅限于填方坝局部稳定的研究。

1 局部变形的类型

土坝岸堤经常发生的局部破坏形式有: 一是坝端绕渗破坏; 二是漫顶溢流垮坝; 三是土坝岸坡的剖面上存在薄弱夹层发生集中渗流, 并向上游发展形成连通的管道, 此时如果大管涌丢失去拱的作用, 堤坝即裂缝下沉, 甚至破坏, 称为管涌。严重者还会在临水侧坝脚附近引起水流旋涡。填方坝中出现大量裂缝的原因之一是由于堤坝本身或地基的渗流, 外部出口处的管涌开始逐渐将细粒带走, 直至表面破坏, 称为流土。其中, 浸润线出渗

点处的土粒首先被冲蚀, 沿坡面向下移动堆积于坡脚, 逐渐在坡面形成局部凹陷和小沟; 或者沿坝底接触面、坝体内的高透水薄层, 以及沿输水管外壁接触面等形成集中渗流通道而造成冲蚀破坏。

陆浑灌区是“文革”期间由有关县区组织群众性施工, 质量失控, 如压实度差, 干么重低, 基础和岸坡处未处理等, 运行时多数填方坝出现大量下沉, 坝体纵横裂缝不断, 最大沉降可以米计, 最大缝宽可达数十厘米。另外, 有的渠段地下水丰富, 各沟均有不同程度的泉水涌出, 使坝头有明渠的湿润区, 通水期间更严重, 坝坡如镜, 渗水从坝坡流出非常明显。

从填方坝的具体情况分析, 我们认为发生类似管涌和流土变形的可能性最大。当坝体裂缝发展成连通的缝隙时, 渠中水或地下水就会沿该通道流出, 在流速达到一定程度时, 将会带走细小土体颗粒, 使缝隙进一步扩大, 缝隙通道不能支撑自身的形状时, 造成通道变形, 引起坝体下沉。这种变形的缝隙大小, 长短是随机的, 发生变形的时间与坝体的干么重、土体结构等有关, 相当复杂, 本文不详细讨论。由于坝体密实度较小, 缝隙较多, 使渠中水体或地下水很容易从背水坡渗出, 通水期间背水坡坡面如镜就是最好的例证。在渗流坡降超过临界值时, 若未设滤层保护, 就会很快出现翻砂泉眼, 转瞬间便有大面积的砂粒从坡面喷涌

收稿日期: 2001-05-03; 修订日期: 2001-05-27

基金项目: 河南省科技攻关项目(99121020)

作者简介: 王 博(1956-), 男, 河南省项城市人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事结构抗震方面的研究。

而出,具有一触即发之势。这种变形常常在出口处率先发生,然后向坝体深层延伸,所以出口处渗流坡降就是校核下游坝坡局部稳定的重要指标。

2 渗透坡降计算

采用有限元法计算坝体内和坝基内的渗流流场。为保证计算结果正确,计算区域的左右边界分别取左右坝脚外 500 m 处,底部边界取坝基地面以下 50 m 处。用固定网格法,将计算区域划分成四边形或三角形单元,为详细掌握重点部位的渗流要素,这些部位的单元应密且小,如坝坡的出逸点附近。非均质各向异性土坝的稳定渗流基本方程及边界条件在单元上离散,用计算机求解离散方程组可得渗流流场内各单元的渗流坡降。

我们选择 3 种地基渗透系数,3 种灌浆幕渗透系数,2 种渠道水位及相应地下水位,组成 12 种运行方案,各方案出逸点处的渗透坡降见表 1。

表 1 渗透坡降及渗出位置

Table 1 Seepage hydraulic gradient and seepage position

方案号	1,2,3	4,5,6	7,8,9	10,11,12
J 左侧	0.37	0.39	0.54	0.52
J 右侧	0.32	0.33	0.54	0.52
出逸点位置	坝脚处	一级台阶上	二级台阶上	二级台阶中间

3 临界渗透坡降

3.1 自由出渗坡面

设自由出渗的坡面与水平面夹角为 β ,坡面上出渗处的流线与水平面夹角为 α ,则坡面上土料在渗透力作用失去稳定有两种可能:一是与坡面正交的渗透力冲动表层土料;一是表层土料沿坡面下滑。显然,渗透力垂直坡面的分量促使土体松动而破坏的可能性远没有沿坡面下滑破坏的危险性大,所以,我们只分析后一种破坏。

如果坡面附近渗透坡度为 J ,则渗透力沿坡面的分量为 $\gamma'_1 \cos(\beta - \alpha)$,土体自重沿坡面分力 $\gamma'_1 \sin \beta$,土粒间的摩擦阻力和粘聚力为 $[\gamma'_1 \cos \beta - \gamma J \sin(\beta - \alpha)] \lg \varphi + C$ 。在临界情况下,上述各力应平衡,并用 J_c (临界渗透坡降) 代替渗透坡降,可得

$$J_c = \frac{\gamma'_1 (\lg \varphi - \lg \beta) \cos \beta + C}{\gamma'_1 \cos(\beta - \alpha) + \sin(\beta - \alpha) \lg \varphi} \quad (1)$$

浸润线出逸点处最易破坏,此点 $\alpha = \beta$,代入上式

$$J_c = \frac{\gamma'_1 (\lg \varphi - \lg \beta) \cos \beta + C}{\gamma} \quad (2)$$

在渗流出口处,粘聚力 C 比实际值小 2~3

倍,若忽略粘聚力的作用,则临界坡降可近似按下式计算

$$J_c = \frac{\gamma'_1}{\gamma} (\lg \varphi - \lg \beta) \cos \beta \quad (3)$$

填方坝实测 $\varphi = 10^\circ \sim 30^\circ$; $m = 2.25, 2.5$ (填方坝边坡系数),按 γ'_1 / γ (土体浮的体积质量与水的体积质量之比) $= 0.4 \sim 1.6$ 进行计算,当 $\varphi \leq 20^\circ$ 时, $J_c \leq 0$,即不允许自由出渗; $\varphi = 25^\circ, 30^\circ$ 时的 J_c 见表 2。

表 2 自由出渗坡面临界坡降

Table 2 Free seepage critical hydraulic gradient

γ'_1 / γ	$m = 2.25$		$m = 2.5$	
	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
0.4	0.008	0.049	0.025	0.066
0.6	0.012	0.073	0.037	0.099
0.8	0.016	0.097	0.049	0.132
1.0	0.020	0.121	0.062	0.165
1.2	0.024	0.146	0.074	0.198
1.4	0.028	0.170	0.086	0.231
1.6	0.032	0.194	0.099	0.263

3.2 淹没出渗坡面

陆浑灌区部分填方坝位于泉水较多地区,再加上输水渠输水过程中的渗漏,坝后必然出现存水,使坝脚出渗坡面淹没在下游水位之中,此时,坡面土料在其浮重作用下沿坡面下滑,比渗流垂直坡面的冲顶更加危险,在忽略粘聚力时,临界坡降可用下式计算

$$J_c = \frac{\gamma'_1}{\gamma} \cos \beta \left(1 - \frac{\lg \beta}{\lg \varphi} \right) \quad (4)$$

取 $\varphi = 10^\circ \sim 30^\circ$, $\gamma'_1 / \gamma = 0.5 \sim 1.6$, $m = 2.25$ 和 2.5 , 计算临界坡降 J_c 。当 $\varphi \leq 20^\circ$ 时, $J_c \leq 0$, 说明不允许坝坡出渗。 $\varphi = 25^\circ, 30^\circ$ 时的 J_c 见表 3。

表 3 淹没出渗坡面临界坡降

Table 3 Submersible seepage critical hydraulic gradient

γ'_1 / γ	$m = 2.25$		$m = 2.5$	
	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
0.6	0.026	0.126	0.079	0.171
0.8	0.034	0.168	0.106	0.228
1.0	0.043	0.210	0.132	0.285
1.2	0.051	0.252	0.158	0.342
1.4	0.060	0.295	0.185	0.399
1.6	0.069	0.337	0.211	0.456

4 局部稳定分析及改进措施

4.1 存在自由出渗坡面的稳定

由表 1 中出逸点的渗透坡降和表 2 中的临界坡降可知,各方案均不满足局部稳定的要求。如

$m = 2.5$, $\varphi = 30^\circ$, $\gamma_1'/\gamma = 1.0$ 时, J_c 为 0.165, 取各方案最小渗透坡降 $J = 0.32$, 安全系数约为 0.5; 若 $\gamma_1'/\gamma = 1.6$, $J_c = 0.263$, 安全系数仅为 0.82. 虽然 J_c 计算中忽略粘聚力的影响, 灌区运行中多次发生填方坝事故与上述计算结果一致.

对存在自由出渗的坝面, 在浸润线渗出点, 因浸润线与坝面相切, 则此处渗透坡降 $J = \sin\beta$, 令 $J_c = J$,

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\gamma_1'}{\gamma + \gamma_1'} \operatorname{tg}\varphi. \quad (5)$$

通常情况下, $\frac{\gamma_1'}{\gamma + \gamma_1'} = \frac{1}{2}$, 即 $\operatorname{tg}\beta = \frac{1}{2} \operatorname{tg}\varphi$, 也就是坝面坡角 β 的正切必须小于饱和土粒间内摩擦角 φ 的正切的一半, 当 $\varphi = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ 时, 需要边坡不陡于 1:5.5, 1:4.3 和 1:3.5 才可稳定. 而灌区填方坝边坡均陡于 1:2.5, 进一步说明灌区填方坝坝面存在自由出渗段时不能满足局部稳定要求, 应设法不使渗水自由流出坝面.

4.2 存在淹没出渗坡面的稳定

根据表 1 及表 3 中数值对比可知, 大部分情况下计算坡降超过临界坡度, 再加上坝面淹没后土体的土力学指标 φ 和 C 较实验值减小, 一般 $\operatorname{tg}\varphi$ 减小 1.5~2.0 倍, C 减小 2~3 倍, 使填方坝淹没部分土体的 φ 值大部分不超过 20° , 临界坡降迅速减小到 0, 从而不满足局部稳定要求.

从表 2 和表 3 的临界坡降可以看出, 在土力学指标相同的条件下, 淹没出渗坡面的临界坡降大于自由出渗的临界坡降, 但淹没土体的力学指标普遍降低, 再加上坝坡偏陡, 就会使淹没出渗的临界坡降随之降低.

对尾水位与坝面交点, 渗流方向垂直于坝面, 而且交点处流线密集, 渗流集中, 出渗坡降很大, 能使坝面土松动, 更助于沿坝面的流失, 因此, 该

点常是渗流出口的破坏焦点, 加上尾水面的波动和风浪冲击, 就更易冲坍, 最不稳定, 必须局部加强防护.

4.3 加强局部稳定的措施

避免坝面被出渗水流冲蚀破坏的措施有两类: 一是培厚, 即放缓边坡或加戗台扩大断面, 增加渗径, 减小出渗的渗透坡降; 二是排水或滤层防护. 坝面出渗局部破坏的原因, 是表面土料在渗透力的作用下沿坝面下滑, 并进而向坝体发展所形成, 若能在坝面出渗段铺设滤层, 防护渗水坝面及出渗口处表层土料不被冲走, 就可以保证坝体局部稳定的要求.

发生局部破坏的根本原因, 是填方坝在特殊时期违背客观规律, 使建筑质量较差, 碾压不实, 造成坝体不断沉陷, 纵横裂缝贯通, 渗径较短, 渗流速度偏大, 坝面坡度较陡等. 因此, 解决填方坝容重低, 裂缝多, 坝体下沉应是首要问题. 对灌溉渠道进行衬砌, 减小漏水量, 降低浸润线, 避免或降低自由出渗段, 对坝的局部稳定也是有利的, 同时对减少渠道输水损失也有利.

5 结束语

通过陆浑灌区填方坝渗流计算和出渗坡面临界坡降计算可知, 填方坝不满足局部稳定要求, 改进措施包括增大坝体密实度, 减少沉降量, 渠道衬砌, 出渗坡面培厚或采用滤层防护.

参考文献:

- [1] 毛昶熙. 渗流计算分析与控制[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.
- [2] 毛昶熙, 段祥宝, 李祖貽, 等. 渗流数值计算与程序应用[M]. 南京: 河海大学出版社, 1999.
- [3] 毛昶熙. 电模拟试验与渗流研究[M]. 北京: 水利出版社, 1981.

Local Stability Analysis of Earth Dams on Luhun Irrigation Area

WANG Bo, WU Jian-ping

(College of Environmental & Hydraulic, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Local stability of earth dams on Luhun irrigation area is researched by computing the seepage field in finite element in this paper. It is illustrated that the local stability of earth dam is not satisfied, because it's quality is poor, it's density is very small, and the velocity and hydraulic slope on the seepage field is great.

Key words: earth dam; seepage; local stability; control seepage