



#### 第四节 土石坝的渗流分析

土石坝

- 一、土石坝渗流分析的目的
- 二、土石坝渗流计算的方法
- 三、土石坝抗渗稳定验算
- 四、防止渗透破坏改善渗透稳定性的工程措施

2  
河南大学

#### 一、土石坝渗流分析的目的

土石坝

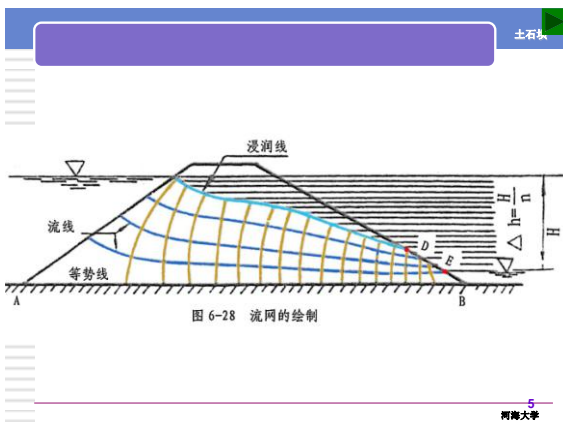
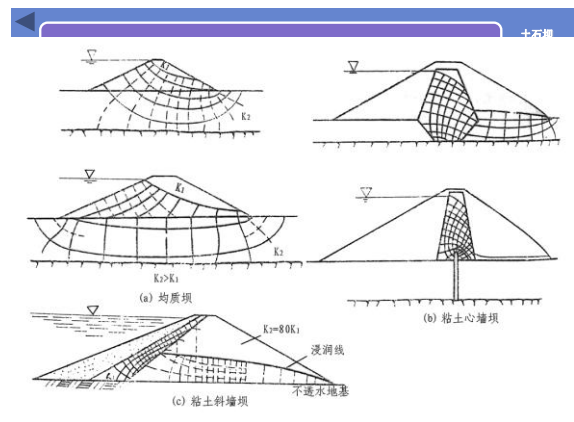
- ▶ 1、确定坝体浸润线及其下游逸出点的位置，绘制坝体和坝基内的流网图；  
→为稳定分析、应力应变分析及排水设备选择提供依据；
- ▶ 2、确定坝体与地基渗流量；  
→用于估计水库渗漏损失并校核坝的排水尺寸；

3  
河南大学

#### 一、土石坝渗流分析的目的(续)

土石坝

- ▶ 3、确定在下游坝坡或地基出逸处的渗透坡降以及不同土层之间的渗透坡降；  
→用于验算抗渗稳定性；
- ▶ 4、确定库水位骤降时上游坝壳内浸润线位置获孔隙水压力；  
→供上游坝坡稳定分析用；
- ▶ 5、确定坝肩的等势线、渗流量和渗透坡降。

4  
河南大学5  
河南大学

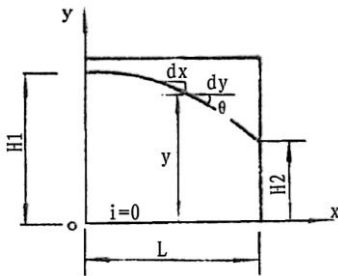
二、土石坝渗流分析的方法

- 1、土石坝渗流分析方法：
  - 基于拉普拉斯方程的绘制流网法；
  - 求基本方程数值解的有限单元法；
  - 电拟试验法；
  - 水力学方法：在平面渗流条件下求解稳定渗流的一种近似方法。

土石坝渗流分析的水力学法

- 不透水地基上矩形土体渗流问题水力学解，假设：
  - ①坝体土是均质的，坝内各点在各方向的渗透系数相同；
  - ②渗透水流为二元稳定层流状态，符合达西定律；
  - ③渗透水流是渐变的，任一铅直过水断面内各点的渗透坡降和流速相等。

渗流基本公式



$$q = v \times y = -k \frac{dy}{dx} y \quad (1)$$

$$H_1^2 - H_2^2 = \frac{2q}{k} L$$

$$q = \frac{k(H_1^2 - H_2^2)}{2L}$$

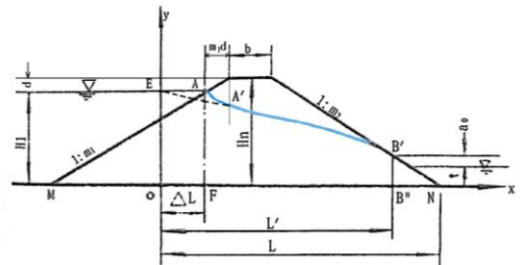
$$H_1^2 - y^2 = \frac{2q}{k} x$$

(一) 不透水地基上土石坝的渗流计算

- 简化为平面问题分若干区段，对每个区段按连续条件求解。
  - 1.均质坝
    - (1)下游无排水或设贴坡排水；
    - (2)下游设有褥垫排水的情况或下游设有棱体排水且下游无水的情况；
    - (3)下游设有棱体排水且下游有水的情况。
  - 2.心墙坝
  - 3.斜墙坝

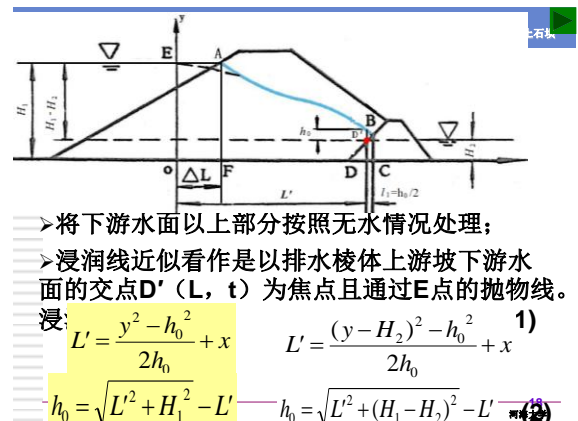
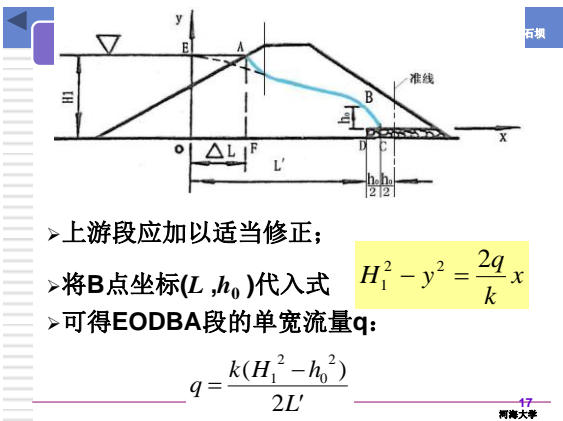
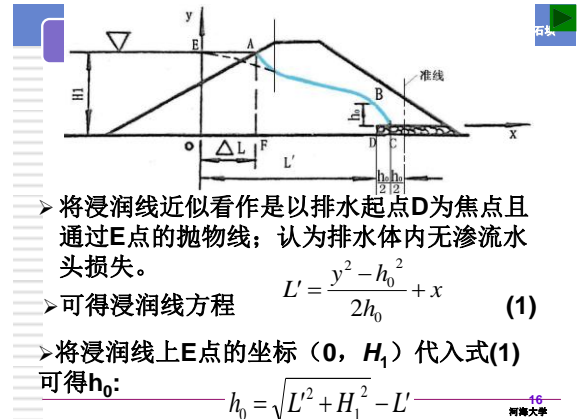
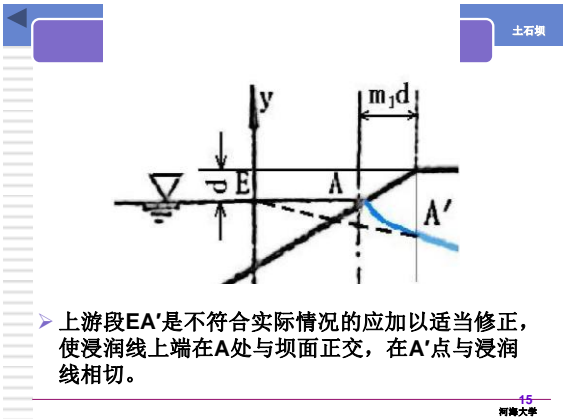
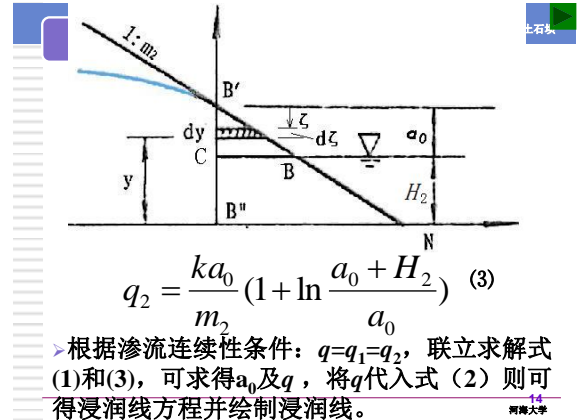
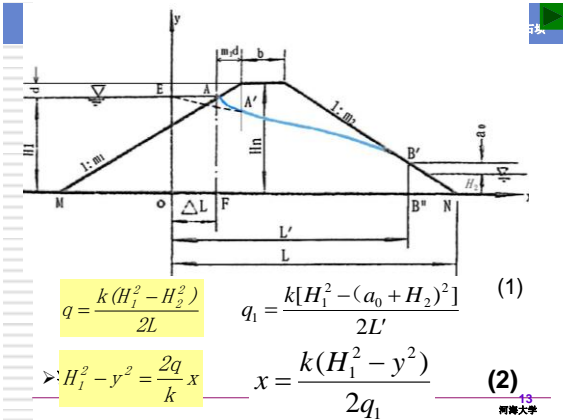
(二) 有限深透水地基上土石坝的渗流计算

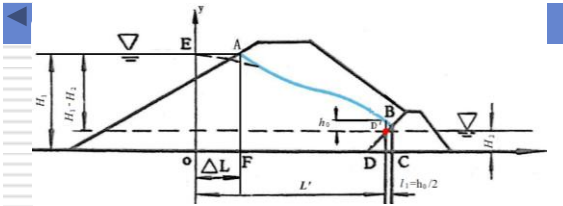
- 坝基渗流按有压渗流计算；坝体渗流量与坝基渗流量之和为总渗流量。
  - 1.均质坝
  - 2.心墙坝
  - 3.斜墙坝



- 分为三段：三角形段AFM（用高为H1，宽为ΔL的矩形EOFA代替）、中间段AFB'B'、三角形段B'B'N；
  - 分为两段：EOB'B'、三角形段B'B'N；按连续条件求解。

$$\Delta L = \frac{m_1}{1+2m_1} H_1$$





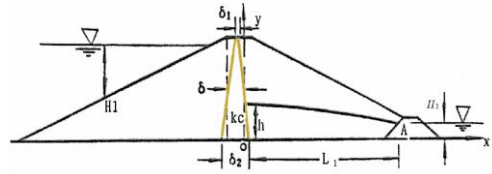
- 上游段应加以适当修正;
- 将B点坐标( $L', H_2+h_0$ )代入式  $H_1^2 - y^2 = \frac{2q}{k} x$
- 可得EODBA段的单宽流量 $q$ :

$$q = \frac{k[H_1^2 - (h_0 + H_2)^2]}{2L'}$$

19 河南大学

不透水地基上心墙坝渗流计算

土石坝



- 计算时忽略上游坝壳段的水头损失;
- 将心墙简化为等厚的矩形断面, 下游坝壳段与均质坝同样处理。

20 河南大学

不透水地基上心墙坝渗流计算

土石坝

- 心墙段的单宽渗流量为:
- 假定下游坝壳逸出点位于下游水位与堆石内坡的交点A, 则坝壳内单宽流量表达式为:

$$q_1 = k_c(H_1^2 - h^2)/(2\delta) \quad (1)$$

$$q_2 = k(h^2 - H_2^2)/2L_1 \quad (2)$$

- 由  $q_1=q_2$ , 联立方程 (1) 和 (2), 可求出  $q$  和心墙后的浸润线高度  $h$ 。

21 河南大学

不透水地基上心墙坝渗流计算

土石坝

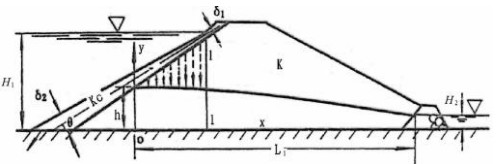
- 下游坝壳的浸润线方程为:

$$x = k(h^2 - y^2)/(2q)$$

22 河南大学

不透水地基上斜墙坝渗流计算

土石坝



- 计算时忽略上游坝壳段的水头损失;
- 分两段计算: 斜墙段、斜墙后的坝壳段;
- 将斜墙简化为等厚的斜墙, 下游坝壳段与心墙坝同样处理。

23 河南大学

不透水地基上斜墙坝渗流计算

土石坝

- 斜墙段的单宽渗流量简化为:

$$q = \frac{k(H_1^2 - H_2^2)}{2L} \quad q_1 = \frac{k_c(H_1^2 - h^2)}{2\delta \sin \theta}$$

- 斜墙后坝壳段的单宽渗流量简化为:

$$q_2 = k(h^2 - H_2^2)/2L_1 = \frac{k(h^2 - H_2^2)}{2(L - m_2 H_2)}$$

- 由  $q_1=q_2$ , 联立求解以上两方程得出  $q$  和  $h$ , 下游坝壳内的浸润线方程:

$$H_1^2 - y^2 = \frac{2q}{k} x \quad x = \frac{k(h^2 - y^2)}{2q}$$

24 河南大学

(二) 有限深透水地基上土石坝的渗流计算

土石坝

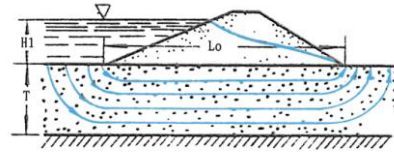
- → 坝基渗流按有压渗流计算；  
坝体渗流量与坝基渗流量之和为总渗流量。
- 1. 均质坝
- 2. 心墙坝
- 3. 斜墙坝

25  
河南大学

有限深透水地基上土石坝的渗流计算 —— 均质坝

土石坝

- 假设坝体的单宽流量为 $q_1$ ，坝基的单宽流量为 $q'$ ，上下游水头分别为 $H_1$ 和 $H_2$ 。



通过坝体与坝基的总单宽流量为：

$$q = q_1 + q' = q_1 + \frac{k_T T (H_1 - H_2)}{L_0 + 0.88T}$$

26  
河南大学

有限深透水地基上土石坝的渗流计算 —— 均质坝

土石坝

- 由达西定理可得地基内单宽流量 $q'$ ：

$$q' = v \times T = -kT \frac{dy}{dx}$$

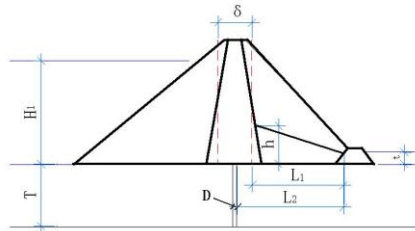
- 将上式从上游面 ( $x=0, y=H_1$ ) 到下游面 ( $x=L, y=H_2$ ) 积分得  $q' = \frac{k_T T (H_1 - H_2)}{L}$

- L实际上是指流线长度，所以考虑进出口流线弯曲的影响及渗流区的几何形状，L可表示为 $L = L_0 + 0.88T$

27  
河南大学

地基中有混凝土防渗墙的心墙坝

土石坝



28  
河南大学

地基中有混凝土防渗墙的心墙坝

土石坝

- 设心墙、混凝土防渗墙、下游坝壳、透水地基的渗透系数分别为 $k_c$ 、 $k_D$ 、 $k$ 、 $k_T$ 。
- 通过防渗心墙和地基混凝土防渗墙的渗流量为：

$$q_1 = \frac{k_c (H_1^2 - h^2)}{2\delta} + \frac{k_D (H_1 - h)T}{D} \quad (1)$$

- 通过心墙后的坝壳和地基防渗墙后的地基的渗流量为：

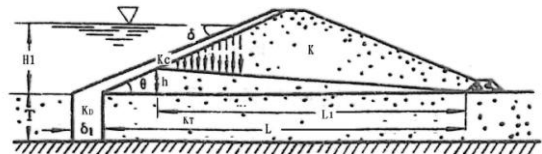
$$q_2 = \frac{k(h^2 - H_2^2)}{2L_1} + \frac{k_T (h - H_2)T}{L_2 + 0.44T} \quad (2)$$

- 由 $q=q_1=q_2$ ，联立求解式(1)和(2)即可得 $q$ 和 $h$ 。

29  
河南大学

(2) 地基中有截水槽的斜墙坝

土石坝



30  
河南大学

## (2) 地基中有截水槽的斜墙坝

土石坝

- 通过斜墙和地基截水槽的渗流量为:

$$q_1 = \frac{k_c(H_1^2 - h^2)}{2\delta \sin \theta} + \frac{k_D(H_1 - h)}{\delta_1} T$$

- 通过斜墙后的坝壳和地基截水槽后的地基的渗流量:

$$q_2 = \frac{k(h^2 - H_2^2)}{2L_1} + \frac{k_T(h - H_2)T}{L + 0.44T}$$

- 由 $q=q_1=q_2$ , 联立求解, 可得 $q$ 和 $h$ 。

31  
河南大学

## 四、抗渗稳定验算

土石坝

## 1、渗透变形的形式及其判别

- 渗透变形: 土石坝及其地基在渗流的物理作用和化学作用下发生土体颗粒流失的局部破坏现象称渗透变形。
- (1) 管涌
- (2) 流土
- (3) 接触冲刷
- (4) 接触流失

32  
河南大学

## (1) 管涌

土石坝

- 渗流作用下不均匀无粘性土中细颗粒从孔隙通道中的连续移动和带出;
- 管涌可能发生的部位: 非粘性土的渗流逸出点和进入排水处;
- 管涌判别: 级配连续时不均匀系数 $\eta > 20$ , 级配不连续时细粒含量小于25%。

33  
河南大学

## (2) 流土

土石坝

- 渗流作用下, 土体的同时浮起或流失;
- 流土发生的部位: 多发生粘性土坡和颗粒较均匀的非粘性土坡中;
- 判别: 级配连续时不均匀系数 $\eta < 10$ , 级配不连续时细粒含量大于35%。

34  
河南大学

## (3) 接触冲刷

土石坝

- 顺着两种土壤的接触面的渗流对接触面颗粒的冲刷;
- 判别: 一般认为当相邻两层土体的 $d_{10}$ 比值小于10且两层土的不均匀系数小于10时, 不会产生接触冲刷, 反之应考虑接触冲刷和接触流失的问题。

35  
河南大学

## (4) 接触流失

土石坝

- 渗流垂直于渗透系数相差较大的两相邻土层的接触面流动时, 将渗透系数较小土层中的细颗粒带入渗透系数较大的另一土层。

36  
河南大学

四、抗渗稳定验算 (续)

土石坝

- 2、渗透破坏标准
- 以临界渗透坡降 $J_c$ 作为判定标准。
- 管涌临界坡降计算公式:

$$J_c = \frac{42d_3n^{3/2}}{\sqrt{k}}$$

- 流土临界坡降计算公式:

$$J_c = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_0} - 1\right)(1 - n)$$

37 河南大学

2、渗透破坏标准

土石坝

- 容许渗透坡降 $[J]$ 可按建筑物级别, 以临界坡降除以安全系数求得;
- 当渗透变形的形式确定后, 也可根据规范中有关图表选取临界坡降和允许坡降;
- 抗渗稳定性验算就是查验下列不等式是否成立:

$$J \leq [J]$$

38 河南大学

五、防止渗透变形的工程措施

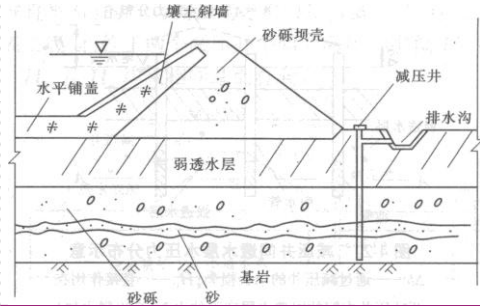
土石坝

- 1、提高土的抗渗性: 土料设计时需考虑;
- 2、降低渗透坡降: 设置水平与垂直防渗体, 调整防渗结构的型式和尺寸;
- 3、降低下游渗流出口处的渗透压力: 设置排水沟或减压井;
- 4、对可能产生流土的地段加盖重, 盖重与被保护土体之间也要设反滤层。

39 河南大学

排水沟、减压井

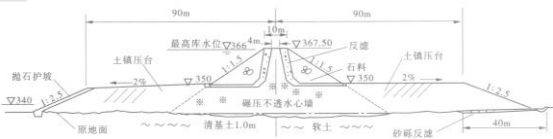
土石坝



40 河南大学

镇压台

土石坝



古巴 Jibacoa 坝 (镇压台)

41 河南大学

反滤层

土石坝

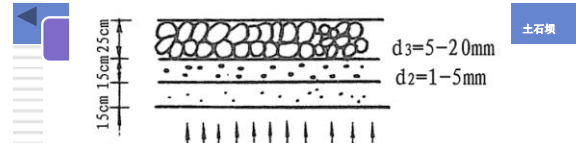
- (1)反滤层的主要作用:
  - 排水滤土, 防止坝体和坝基在渗流逸出处产生渗透破坏;
- (2)坝的反滤层必须符合下列要求:
  - 使被保护土不发生渗透变形;
  - 渗透性大于被保护土, 能通畅地排出渗透水流;
  - 不致被细颗粒淤塞失效;
  - 在防渗体出现裂缝的情况下, 土颗粒不会被带出反滤层, 能使裂缝自行愈合。

42 河南大学

## 反滤层

土石坝

- (3)反滤层位置：J较大，可能不满足反滤要求的地方。
- 各种排水与坝体和地基之间；
- 土质防渗体与上、下游坝壳或坝基透水层之间及下游渗流逸出处；
- 下游坝壳与坝基透水层接触区，与岩基中发育的断层、破碎带和强风化带接触部位。

43  
河南大学

土石坝

图 6-33 反滤层

- (4)反滤层型式：
  - 土反滤：由几层砂砾料按粒径沿渗流方向增大铺设；
  - 土工织物反滤。

44  
河南大学