

黏土心墙坝关键性反滤层渗透稳定问题分析

李晓晖

摘要: 本文结合山西省张峰水库工程关键性反滤层计算分析与试验工作,探讨了黏土斜心墙堆石坝反滤层设计与其渗透稳定性验证的方法。研究表明:关键性反滤层是黏土心墙坝的生命线,在设计中除了通过计算分析初步确定反滤层的级配曲线和控制密度以外,还需要特别重视反滤层渗透稳定性的试验验证,以确保大坝的安全。

关键词: 水利水电工程;斜心墙堆石坝;反滤层;渗透稳定

中图分类号:

文献标识码:

文章编号:

Analysis for Seepage Stability of Key Filter Layer in Clay Core Wall Dam

Abstract: Though calculate analysis and a series of experimentation, which include grain size test, contact efflux test, contact scouring test, taking Zhang Fen reservoir engineering of ShanXi province of china. as an example, the design of key filter layer in clay core wall dam, and the verifying method of seepage stability of the filter layer is analysis. It was shown that the key filter layer is the lifeline of clay core wall dam, the verifying of seepage stability of the filter layer with experimentation is very important in filter layer design.

Keyword: Water conservancy and hydroelectricity engineering; sloping core rubble dam; Filter layer; Seepage stability.

黏土心墙坝安全的关键在于心墙,而心墙的渗透稳定关键在于反滤层的保护,因此反滤层的渗透稳定性研究一直是土石心墙坝设计的关键技术问题。对大坝反滤层渗透稳定性的研究一直是大坝设计和研究人员关注的问题。本文结合山西张峰水利工程关键性反滤层计算分析与试验工作,探讨了黏土斜心墙堆石坝反滤层设计计算方法,并通过对反滤层进行了颗粒分析、心墙土料与反滤层、二层反滤层之间的接触关系进行接触冲刷、接触流失试验,探讨了心墙反滤层的渗透稳定性的验证方法,可供类似工程参考。

1 反滤层设计

山西省张峰水库工程位于山西省晋城市沁水县张峰村附近的沁河干流上,总库容为 3.94 亿 m^3 。拦河大坝坝型为粘土斜心墙堆石坝,建筑物级别为 2 级,100 年一遇洪水设计,2000 年一遇洪水校核。坝顶长度 627 m,坝顶宽度 10 m,最大坝高 72.2 m,坝顶高程 763.8m,水库正常蓄水位 759. m,工程区抗震设防烈度 7 度,是一座以城市生活和工业供水、农村人畜饮水为主,兼顾防洪、发电等综合利用的水利工程。

张峰水库大坝为斜心墙堆石坝,坝体分为心墙(1区)、反滤层区(2区)、过渡料区(3区)和堆石区(4区)。反滤层区又分为 2A 和 2B 两个子区,过渡料区分为 3A 和 3B 两个子区,堆石料也分为 4A 和 4B 两个子区。坝体分区布置见图 1 所示。¹

¹ 收稿日期:

修改日期:

作者简介: 李晓晖(1967-),女,山西武乡人,毕业于大连理工大学土木系水工专业,教授级高工,主要从事水利工

程建设和管理工作、质量监督、大坝安全监测

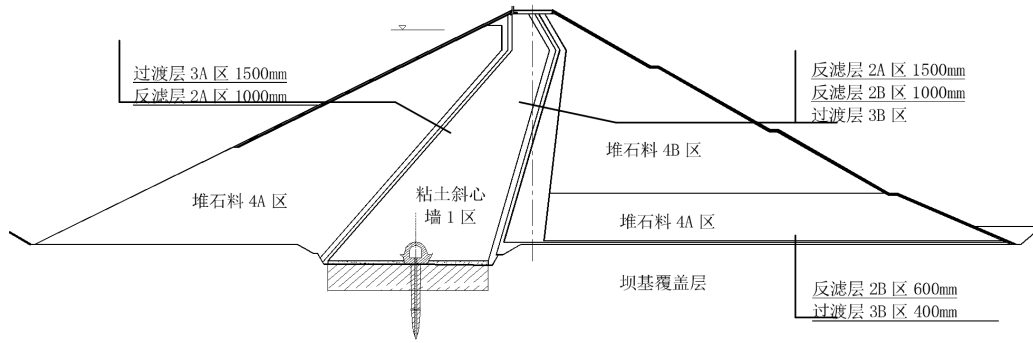


图 1 大坝分区图

反滤层设在大坝心墙上、下游和下游覆盖层与过渡层之间，以及堆石坝壳与左岸岸坡低液限粘土接触等部位。其中心墙上游反滤层为一层，定名为 2A，其后直接与过渡料层相接，反滤层与过渡层的厚度分别为 1.0、1.5m；心墙下游反滤层为两层，定名为 2A、2B，2B 反滤层与下游过渡层 3B 衔接，两层反滤层的厚度分别为 1.5、1.0m；在下游覆盖层与过渡层之间的反滤层为 2B 反滤层，其厚度为 0.6m。反滤层按照相对密度控制，要求其填筑相对密度不得小于 0.7。

心墙土料料场选定为上山土料场，2A 反滤层采用人工骨料由石灰岩轧制而成，2B 砂砾料场选定为上山砂砾料场、大河滩砂砾料场、张峰砂砾料场，以大河滩砂砾料场为主料场。其中：心墙土料为第四系中更新统洪积低液限粘土，分为上下两层，上层呈黄色，下层呈棕红色，以下层棕红色黏土储量最多。其颗粒级配包线及平均线见图 2 所示；砂砾料场位于坝址上游 0.5~0.8km 处沁河河漫滩上，为第四系全新统洪冲积漂石混合土、混合土卵石层、粘土质砂、低液限粉土。

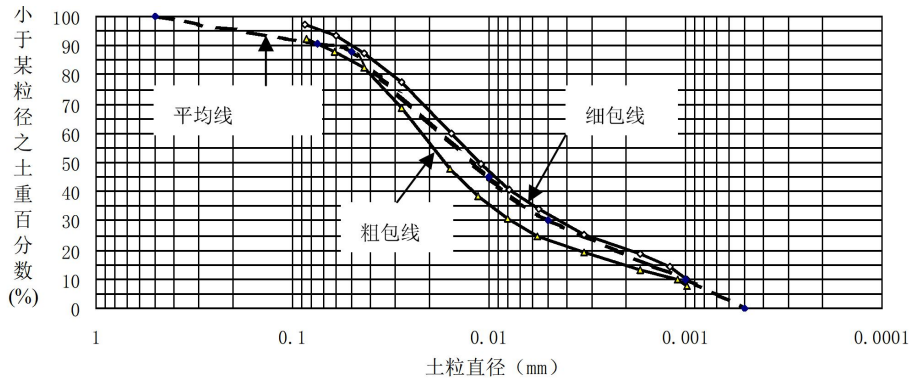


图 2 土料颗粒级配特征曲线

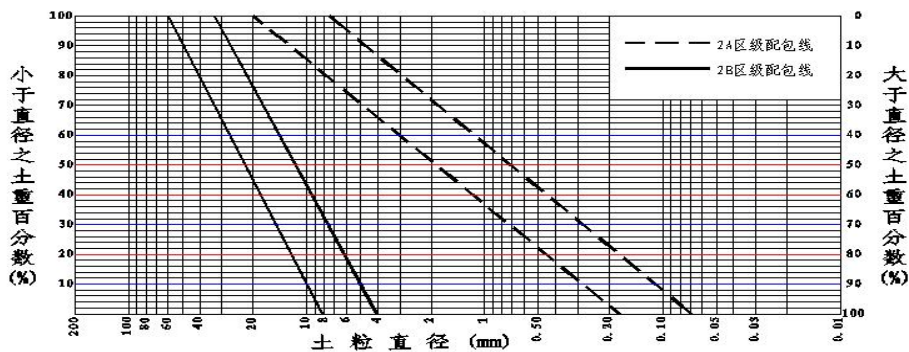


图 3 反滤层设计级配曲线

2 反滤层计算验证

反滤层是防止土石坝渗透破坏的有效措施，正像著名土力学专家 J. L 谢拉德所说：“反滤层是

当前防止土石坝渗透破坏的首道防线”^[1]，反滤层的主要作用在于“滤土”和“排水（减压）”。所谓“滤土”也叫“保土”，指保证被保护土颗粒不流失，保证被保护土的结构稳定；而“排水（减压）”指保证被保护土中渗透水流的通畅，不至于在渗透水流通过反滤层时发生浸润面的抬升。为了判别反滤层的“滤土”、“排水”效果，许多学者提出了很多判别准则，称为反滤准则。较为著名的有太沙基（Terzaghi）准则、依斯托美娜准则、谢拉德（Sherad）准则、莱夫勒（Lafleur）准则、中国水利科学研究院刘杰准则等，我国水利部《碾压式土石坝设计规范》SL274-2001推荐采用谢拉德（Sherad）准则。

依据水利部《碾压式土石坝设计规范》SL274-2001规定的方法对设计反滤层的合理性进行验算如下表1所示。

从表中可以看出，设计反滤层中，2A料与土料、2B与2A的接触关系均满足规范的要求，反滤层设计合理。

表1 设计反滤层验算表

土料	接触关系	保土性		排水性		防止分离条件	综评
		计算	允许	计算	允许		
		D_{15}/d_{85}	D_{15}/d_{85}	D_{15}/d_{15}	D_{15}/d_{15}		
2A/土料	2A 粗包线/土料粗包线	7.20	≤ 9	171.43	≥ 4	满足	满足要求
	2A 粗包线/土料细包线	9.00	≤ 9	300.00	≥ 4	满足	
	2A 细包线/土料细包线	3.25	≤ 9	108.33	≥ 4	满足	
2B/2A	2B 粗包线/2A 粗包线	3.30	$\leq 4\sim 5$	34.66	≥ 5	满足	
	2B 粗包线/2A 细包线	3.72	$\leq 4\sim 5$	83.75	≥ 5	满足	
	2B 细包线/2A 细包线	2.00	$\leq 4\sim 5$	45.00	≥ 5	满足	

3 试验验证

为了进一步验证反滤层的性能，对关键反滤层进行了进行了接触流失和接触冲刷试验。接触流失试验是用来判断两种不同的土料接触条件下，当渗透水流垂直接触面流过时，接触面处沿水流方向产生被保护土料进入保护土料的可能性，测定被保护土料在保护土料反滤保护下的渗透稳定性。该试验是判断反滤保护性能优劣的最直接的方法；接触冲刷试验反映水流同时进入两种介质时接触面处产生的破坏问题，描述接触面处边缘破坏情况，由于两种介质不同，接触面处的衔接是一个薄弱环节，是很容易产生渗透破坏的地方，许多大坝因此而失事。

3.1 接触流失试验结果

试验得到的各种接触面的接触流失试验结果如表2所示：

从表中可以看出，2A、2B和心墙土料之间各种接触关系的临界渗透坡降均较高，证明反滤层可以满足心墙土料保护的要求。

3.2 接触冲刷试验结果

试验发现：从渗透水流形态看，渗透水流主要是通过渗透系数大的试料流出，在该层料中渗透流速大，颗粒移动快；从试验过程测压管变化情况看，在水头不断增加的情况下，在临界坡降前，进口处的测压管与试样中部测压管的水头差与中部测压管和出口部位的测压管的水头差基本一致；在临界坡降后，随着坡降的增加，试样进口段的坡降递增值大于出口段的递增值。坡降愈大两段的坡降的差值愈大。说明在水流作用下试料进口段的细颗粒不断移动、聚集，不断堵塞渗流通道，使

试样内的平均渗透系数减小；从试验完毕拆样后接触面处有冲刷迹象看，各种试验中接触面未见有冲刷现象。试验得到的各种接触面的接触冲刷试验结果如表3所示：

从试验结果看出，接触冲刷临界渗透坡降主要受粗料特性控制，坡降值与粗料自身临界渗透坡降基本相当，而较细料本身临界渗透坡降小的多，也同样说明在接触面上未有冲刷发生的可能，证明该工程反滤层性能较好。

表2 各种接触面的接触流失试验结果表

序号	土料编号	相对密度/压实度	制样密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	临界坡降 i_k
1	2A 粗包线料/心墙料细包线	0.7/0.98	1.99/1.67	162.7
2	2A 粗包线料/心墙料粗包线	0.7/0.98	1.99/1.70	157.7
3	2A 细包线/心墙料细包线	0.7/0.98	2.0/1.67	153.0
4	2A 细包线/心墙料粗包线	0.7/0.98	2.0/1.7	200.0
5	2B 粗包线/2A 粗包线料	0.7/0.7	1.89/1.99	4.6
6	2B 细包线/2A 粗包线料	0.7/0.7	1.88/1.99	1.5

表3 各种接触面的接触冲刷试验结果表

序号	土料编号	相对密度 D_r	制样密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	临界坡降 i_k
1	2A 粗包线/心墙土细包线	0.7/0.98	1.99/1.67	0.83
2	2A 粗料/2B 粗包线	0.7/0.7	1.99/1.89	0.50
3	砂/心墙土细包线	0.98	1.7	100.79

4 结论

(1) 通过计算分析表明，张峰水库大坝 2A 和 2B 反滤层设计级配曲线符合规范要求，反滤设计级配曲线合理。

(2) 通过接触冲刷和接触流失试验证明，设计反滤层能够达到保土和排水减压的要求，其临界渗透坡降较大。

(3) 反滤层是心墙土石坝的生命线，其反滤性能关系到整个大坝的安全，在工程建设中，不仅要重视反滤层的计算分析，同时必须进行实际渗透稳定试验验证，以确保工程安全。

参考文献：

- [1] 刘杰. 土的渗透稳定性及渗流控制[M]. 北京：水利电力出版社，1992.
- [2] 郭庆，孙维卫，马理等. 砂石滤层应用中的几个问题[J]. 西北水电，2002，7，(3)：28-32
- [2] 郭庆国. 滤层准则研究与应用的四个发展阶段[J]. 土石坝工程，2000，(4)：37-46.
- [3] 郭庆国. 砂石滤层准则的研究与进展[J]. 西北水电，2001，(3)：29-34.
- [4] ICOLD. ICOLD Bulletin [J]. 1994. (95)：54-85.
- [5] SDJ218-84. 中国水利电力部，碾压式土石坝设计规范[S].
- [6] СН И П 2. 06. 05. 84. 前苏联建筑法规，土石材料坝[S].
- [7] 郭庆国. 粗粒土的工程特性及应用[M]. 郑州，黄河水利出版社，1998.