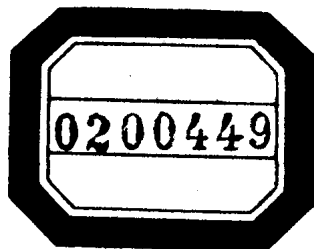


堤坝下游的排水减压井

周 汾 李春华



水利电力出版社



水电部科技情报所	
图书总号	中 5497
分类号	126

堤坝下游的排水减压井

周 汾 李春华



006010 水利部信息所

水利电力出版社

内 容 提 要

本书就国内外文献及实际工程经验,对堤坝下游排水减压井的布置原则、降压标准、设计所需基本资料、渗流计算、结构设计和井管制造工艺、施工和管理等方面进行了较全面的阐述。此外,对井系渗流计算提出了:求平均测压管水位和井间测压管水位的附加阻抗系数曲线;与剩余压力有关的运算列线图;根据允许测压管水位(极限压力)进行设计的运算步骤;求反滤料水头损失的公式。对井的结构设计建议了:选择反滤料的方法;开孔率的确定。关于施工方面对造孔、安装、压水冲洗等方法提出了某些建议。

本书可供水利技术人员阅读,其中关于井的结构设计和施工部分,也可供从事工农业供水井建造的人员参考(本书的原稿系1963年写成,这次出版前作者作了修改补充)。

堤坝下游的排水减压井

周 汾 李春华

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

1979年1月北京第一版

1979年1月北京第一次印刷

印数 0001—6730 册 每册 0.34 元

书号 15143·3401

目 录

绪 论	1
第一章 排水减压井的布置原则、降压标准、 设计所需资料	4
第一节 布置原则	4
第二节 降压标准	6
第三节 设计所需资料	8
第二章 排水减压井的渗流计算	11
第一节 渗流计算公式	12
第二节 排水减压井的井距、井深和井径的确定	31
第三节 各种水头损失的考虑	40
第三章 排水减压井的结构设计及井管制造工艺	48
第一节 排水减压井的组成部分及其设计任务和要求	48
第二节 各种管材的优缺点及其选择	55
第三节 过滤器设计	57
第四节 升水管和井口、井帽和出水口	82
第五节 井底	86
第六节 导向设备	88
第四章 排水减压井的施工和管理	88
第一节 排水减压井的施工	88
第二节 排水减压井的管理	111
主要参考文献	115

绪 论

堤防和土坝常遇到由砂砾石冲积物组成的透水地基，与不透水地基相比较，通过坝基的渗流将成为重要的考虑因素。如果坝基的透水性大于坝身许多倍，为了简化起见，可以认为坝身是不透水的；反之，如果坝基的透水性与坝身相接近，则必须同时考虑通过坝身和坝基的渗流。对于一切渗流情况，不论是通过坝身的还是通过坝基的，或者是两者的组合渗流，都必须认识到，如果对坝趾及其下游附近的渗出水 and 所产生的扬压力未曾给予适当的控制，则将可能导致该处发生管涌或流土现象，甚至危及整个坝身的安全。

在透水地基上，尤其是在较深的强透水地基上建筑堤坝时，根据技术上的可靠性和经济上的合理性，除可采用垂直防渗措施外，也可采用上游铺盖配合下游排水减压设备来控制坝基渗流。其要求主要是控制坝基渗流量，保证坝基内部渗透稳定，减小坝趾附近及其下游的渗透扬压力，防止发生有害的管涌或流土破坏，减轻或避免下游浸没。上游铺盖的作用主要是延长渗径，满足前两个要求；下游排水减压设备是控制坝基渗流的人工出口，其作用主要是满足后两个要求。但应指出，在某些具体情况下，加强和加厚上游铺盖或在下游采用盖重，不仅可以同样解决问题，而且有时也较经济，故应作为比较方案，一并加以研究。

排水减压设备有水平排水垫层、反滤排水沟及排水减压井三种形式，其选择主要取决于地质条件。水平排水垫层可

用于透水性均匀的坝基。当坝基表面有薄的弱透水层或不透水层，且其下面为较浅的单一透水层时，可用反滤排水沟截穿表面层，以排水减压。对于表面弱透水层较厚、其下部强透水层又较深厚的地基，或含水层成层性显著、夹有许多透镜体和强含水带的地基，采用反滤排水沟不仅工程量大，而且效果也不显著；如采用排水减压井深入各主要强透水层中，或二者联合应用，则可以经济而有效地达到排水减压的目的。此外，排水减压井比较灵活，占用施工场地小，可以与坝体填筑同时施工。水库经过蓄水后，当通过测压管水位发现某些局部地区减压不够时，则可以将减压井加密、加深。这些都是它的显著优点。排水减压井的缺点是渗漏损失较不设井时约增加20~40%。

采用排水减压井控制坝基渗流，在国外行之已久，并获得了肯定的效果。我国解放以后，排水减压井首先用于沭河大官庄土坝，其后，荆江大堤和广东北江大堤有几个堤段也采用过排水减压井，还有黄壁庄、岳城等十多个水库，又相继采用，都获得了肯定的效果。

沭河大官庄土坝坝基的沉积物，上层为粗砂层，下层为砾石层，各厚约3米。原设计采用上游铺盖结合下游排水沟来控制坝基渗流。施工时因水下开挖排水沟较困难，未按设计做好，以致第一年汛期坝趾处砂基发生浮动现象，涌水冒沙不止，抢盖砂土亦复无效。据称当时人站在上面，可下陷半米深。后幸河水停涨，渗漏冲刷未见扩大，才未危及坝身安全。汛后为了降低砂层底面所受的扬压力，³采用了排水减压井措施。井距30米，井径80厘米，井管为开有孔眼的混凝土管，用沉箱法施工，深度要求抵达砾石层，内中回填滤料和块石。各井上端用深达1米的反滤沟相连，每隔一定距离

并设有垂直于坝轴的排水沟向下游泄水。经过上述处理后，大坝已运用了十几年，过去严重的流土现象，再未复见，工作情况仍然正常有效。

黄壁庄水库土坝坝基沉积物的表面为3~4米的壤土层，采用上游铺盖和排水减压井防渗。在井未安好前，当库水位高于下游地面5米时，坝趾附近即有涌砂现象，后来加强了上游铺盖，并在下游增打了新井，经过设计洪水位的考验，坝趾下游未再发现管涌冒砂现象。

鸭河口水库土坝台地表层为厚4~8米的粉质壤土，其中且有许多垂直针孔，下卧层为砂砾石层，采用天然铺盖结合下游排水减压井控制坝基渗流。在打井以前，当库水位很低，仅为设计水头的13.5%时，台地部分即出现多处冒水翻砂现象。根据观测资料推算估计，打井前该段下游剩余水头约占设计总水头的16%。打井后剩余水头大大降低，只有2.5~2.7%，效果显著，达到了设计要求。

因限于篇幅，其余各工程的效果，就不一一列举了。

应该指出，有些土坝的排水减压井，也存在着一定的问题。其中除属于井系布置（如井系位置、井口高程、井径、井距、井深等的确定）的原因以外，较普遍的是有些井发生了不同程度的堵塞或淤积。产生的原因，属于井的结构设计方面的有：井管或接头不严密；反滤料选择不当；过滤管不坚固，发生破坏；砾石混凝土透水过滤管抗堵塞的技术问题，尚未过关。属于施工方面的有：采用泥浆固壁钻孔；回填反滤料的方法，不能保证各粒组不分离；冲井洗井不彻底。属于管理方面的有：井口保护不善，被人抛进了石块等。

为了使排水减压井设计得经济合理，长期而有效地充分发挥其作用，本书汇集了国内外有关堤坝下游排水减压井的

设计施工和管理等方面的主要经验，对井系布置原则、降压标准、设计必需的主要资料、井系的渗流计算、井的结构设计和井管制造工艺、施工和管理等问题，进行了一些探讨，并根据我们自己的研究成果和体会，提出了一些看法和改进意见，供设计施工人员参考。

在渗流计算方面，整理了均质含水层上为不透水表面层时长列完全井和不完全井的已有渗流计算公式后，推荐其最有普遍性和物理意义比较明确的一套计算公式（采用本书的符号和表达形式）。将弱透水表面层换算成相当于不透水表面层的等效长度，和将不均质含水层换算成均一含水层后，这套公式可以普遍地应用于目前水利工程上遇到的一般情况。我们还根据试验和研究作了以下的补充。关于渗流计算方法，提出了：（1）求井系附加阻抗系数（ θ_a 和 θ_m ）的试验曲线，其精度较现有公式和图表都高；（2）计算反滤层水头损失的近似公式及常用范围以内的反滤料渗透性试验曲线；（3）以剩余压力系数绘制的列线图及根据极限压力进行设计的运算步骤。关于井的结构设计方面，对过滤管开孔率的大小，反滤料的选择方法提出了建议。此外，在某些过滤管和井管制造工艺方面提出了初步改进意见。

第一章 排水减压井的布置原则、降压标准、设计所需资料

第一节 布置原则

减压井系统应设在紧靠下游坝趾处，以便有效地控制坝基渗流。

排水井流出的水通常由排水沟输出。井有设在沟中间、沟的上游侧坡上以及沟上游附近等三种形式(参见图 3-1)。其中第一种形式的优点是排水沟的中心与呈漏斗形分布的扬压力中心一致,但不便观测管理,最好不采用。第二种形式,采用最广,造价也较廉。第三种形式用管材较多,土方开挖量也较大,但便于观测管理,同时,可避免出水口结冰,宜于较寒冷的地区采用,但井线应尽量靠近排水沟,以便使排水沟在呈漏斗形分布的扬压力范围以内。

由于土坝的各坝段的具体情况不同,有些坝段可以设井,而另一些坝段可以不设井。同时,井深、井距、井径及井口高程也可不同。

井口高程应高于井不排水时排水沟中可能出现的最高迳流水位,以防泥水倒灌。井口的绝对高程愈低,降压效果愈大,但开挖排水沟的土方量也相应地增加,因此经济合理的井口高程,应通过方案比较确定。

井系通常采用一排,必要时(例如渗流量大,一排井要求井距很密的情况)也可采用两排,但第一排的排水能力必须较强,两排井的布置应错开。

井管直径不宜太小,也不宜太大。太小将产生较大的摩擦水头损失,太大将造成浪费。因为当井管直径满足了排水量的要求后,若继续增加井管直径,减压效果并不显著增加。因此,根据可用的钻具尺寸及容易得到的管材,选择一、二个井管直径作为比较方案是合理的,也是应该的。通常井管直径采用 15~30 厘米;排水量较小的,可以小些。黄壁庄水库根据已有的管材规格选择的井管直径为 25 厘米左右。

井的贯入度(即过滤器进入含水层中的长度与含水层厚

度之比，对于多层含水层应化成均质的含水层，用以计算其有效贯入度）对于井的排水减压作用影响很大。整个含水层中设有过滤器的叫完全井，反之，叫不完全井。根据试验研究，贯入度小于25%时，排水减压效果不大；大于75%时，效果亦不再显著增加。因此当表面层下面为单一含水层时，一般贯入度采用50~75%。对于有两个或三个含水层的坝基，过滤器应贯入强含水层中；当强含水层厚度不大时，应同时贯入次强含水层中，其贯入度（有效的）仍采用50~75%。当含水地层中有数米厚的连续粘土夹层时，可将该层认为是不透水的隔层，而仅在其以上的含水层中设过滤器。如果夹层是不连续的，且强透水层位于夹层的下面，则仍可仅在强透水层中设过滤器；如果强透水层位于夹层上面，除应在此层中设过滤器外，夹层下面的含水层中也应设过滤器。这时，可以于同一个井上相应于不同的含水层采用不同的过滤器，而在夹层所在处采用盲管（即没有开过水孔眼的管子）。应该指出，如果井的施工造价较高，则采用较大的贯入度常较经济，因为在同一个井中增长几米滤管要比增加一个井便宜得多。

此外，当含水层的厚度较薄时，通常打完全井，且井距可以大些。两岸有绕流时，靠近岸边处的井应加深或加密。

第二节 降 压 标 准

对防止坝趾及其下游表面层发生管涌和流土来说，应使最薄弱地点的渗流出逸坡降小于允许值；就防止下游沼泽化来说，应使地下水位低于地表面以下的深度在允许范围内。此外应当指出，在距坝趾较远处（约100~200米）出现的轻

微管涌现象，一般对坝的安全无害，可以不加处理。

坝基表面层允许出逸坡降的决定，可以通过室内试验、野外观测或理论计算，求得其渗透破坏坡降，再给以适当的安全因数即可。对于粘性土，安全系数可采用1.5~2.0；对于无粘性土，可采用2.0~2.5。此外，经验数据也可作为参考。在没有试验和观测资料的情况下，可以下列方法估计：

(1) 流土 无粘性土的渗透破坏坡降，可采用太沙基 (K. Terzaghi) 动水压力和土的浮重相平衡的公式估算：

$$J_{\text{破}} = (\gamma_s - 1)(1 - n).$$

式中 $J_{\text{破}}$ ——流土渗透破坏坡降；

γ_s ——土粒比重；

n ——土的孔隙率。

这些公式在苏联伏尔加-顿河的一些水利枢纽（例如齐姆良水电站、凡尔伐洛夫水库等）中曾经应用过。用此式计算的结果，一般在0.8~1.2之间。

当表面层为相对不透水的粘性土时，也可用上式核算其浮动可能性。但应注意到粘性土，一方面由于凝聚力的存在，土粒不易流失，以致其破坏坡降可达较大值；而另一方面，由于其中存在着根管缝隙，其破坏坡降又较一般为小。因此当表面层较薄时，应采用较大的安全系数。根据美国在密西西比河冲积平原上修造堤坝的经验，对于堤坝下游应控制的允许出逸坡降，建议采用表1-1的经验数据。

应该指出，在渗流分析中，计算表面层的出逸坡降时，应将表面层中各组成土层的实际厚度化为某渗透性的当量厚度，然后加起来，算出整个表面层具有均匀垂直渗透性的特定有效厚度，进行运算。

(2) 管涌 对于细颗粒含量小于30%的正常级配砂砾

表 1-1

年 份	分 类		下游坝脚处的坡降	盖重末端的坡降
1956年	工业区	需要控制	>0.7	<0.67
		按观测情况而定	$0.5\sim0.7$	
		不需要控制	<0.5	
	农业区	需要控制	>0.85	<0.85
		按观测情况而定	$0.67\sim0.85$	
		不需要控制	<0.67	
1959年	上游铺盖		$0.5\sim0.6$	$0.6\sim0.7$
	减压井		$0.5\sim0.6$	$0.6\sim0.7$
	下游盖重		0.5	$0.75\sim0.80$

料，可参考目前常用的伊斯托敏娜（В.С.Истомина）根据室内试验资料所建议的允许出逸坡降数值：

$$\eta < 10, J_0 = 0.3 \sim 0.4;$$

$$10 < \eta < 20, J_0 = 0.2;$$

$$\eta > 20, J_0 = 0.1.$$

式中 η —— 不均匀系数；

J_0 —— 允许出逸坡降。

对于特别重要的工程（如下游为工业交通区）、地质条件特别复杂且有明显的薄弱环节，以及土的渗透稳定性极差等情况，安全系数可酌量提高，采用较小的允许出逸坡降。对于暴涨暴落的河道堤防，安全系数可酌量减小，采用较大的允许出逸坡降。

第三节 设计所需资料

排水减压井的设计，包括井系渗流水力计算及井的结构

设计。因此，除应具备进行一般水平防渗措施设计所需的资料外，还应知道可以取得的管材及其加工、造孔、安装的技术条件，否则设计方案将难以付诸实现。

在处理坝基渗漏问题中，坝基的工程地质、水文地质条件起着主导作用，必须从空间和平面上充分摸清，这是众所周知的。对于排水减压井而言，这一要求尤为重要。因为只有充分掌握了上下游进水和出水的边界长度、各层的分布及其渗透性，才能比较可靠地算出井的出水量及下游的剩余压力。否则，所确定的井系尺寸将难以合理，不是造成浪费，就是不安全。

在勘探工作中要特别着重了解减压井沿线的地质剖面及各土层的颗粒级配，并应绘出其渗透剖面图，以便正确地确定井深，选择过滤器的结构形式及其反滤料，以防井的淤塞。此外，并应仔细探清在井排下游约150~200米内对渗流分析可能有重大影响的各种地质特征的范围和厚度，尤其应探清表面层的厚度及其渗透性分布（各种沟槽底部的表层厚度也应探查清楚）；同时还应查明含水层是否有尖灭现象等。

关于粘土渗透系数的测定方法，应视土质及厚度而定。根据实践，不论粘土是在表面或接近表面，或被天然沉积物所复盖，粘土层的实际渗透性不仅与其厚度有关，且在很大程度上与植物根孔、干缩裂缝及小动物的穿孔等的存在有关。经过接近地表面相当薄的土层（小于1.5米）向上的渗流，一般地是通过上述孔隙，而不是通过土的孔隙，因而室内渗透试验，常不能表示实际的渗透性。除粘土外，其他粘性较重的土层也存在着同样的现象，不过程度较轻而已。至于黄土的室外渗透系数，常较室内试验的大100倍左右，这已是大家熟知的。因此对于粘性土表面层，应采用野外试验

法，按高程分别测定其渗透系数。

半透水性土层（如粉质砂土、砂质粉土及粉土等）的渗透系数，能够通过原状土样的室内试验合理而精确地测得。因为除非在该面积中已发生过管涌现象（对已经蓄水的堤坝而言），否则通过这些土中的渗流通常都是层流。

坝基含水层的渗透系数应用分层抽水试验法测定。当抽水试验不能确定时，对于砂层，可以通过取样进行筛分或室内渗透试验予以估计。取样方法可用薄壁取土器或对分取土筒从泥浆固壁孔中采取，或用活塞掏沙筒采取。如砂层中不含砾石，薄壁取土器从泥浆孔中可以取得近于不扰动的砂样，而用其他两方法所取的砂样的质量较差。不论用上述那种方法取样，试验前均须将进入砂样中的泥浆洗净。根据美国在密西西比河河谷进行抽水试验与用上述方法所取土样的室内扰动土渗透试验相比，发现前者所得数值约较后者大1.5~4倍。不一致的原因是，含水层或多或少地都是成层的。图1-1为抽水试验所得水平渗透系数 K_H 与土样的平均有效粒径 D_{10} 的关系曲线，可供参考。

根据国内实践，用活塞薄壁取土器从泥浆固壁孔中取样，只有上下两端很短的一段中有泥浆进入，因而可以取得较前述方法更好的不扰动土样。同时，在砂层中含有少量的小砾石时也可使用。

对于平原水库，应特别注意筑坝前地下水位的动态及数值的测定，以供核算防止下游发生浸没的依据。

已蓄水的堤坝，也应利用测压管水位及渗流量观测资料，计算上下游边界长度和坝基透水层及表面层的渗透系数，作为设计的依据。

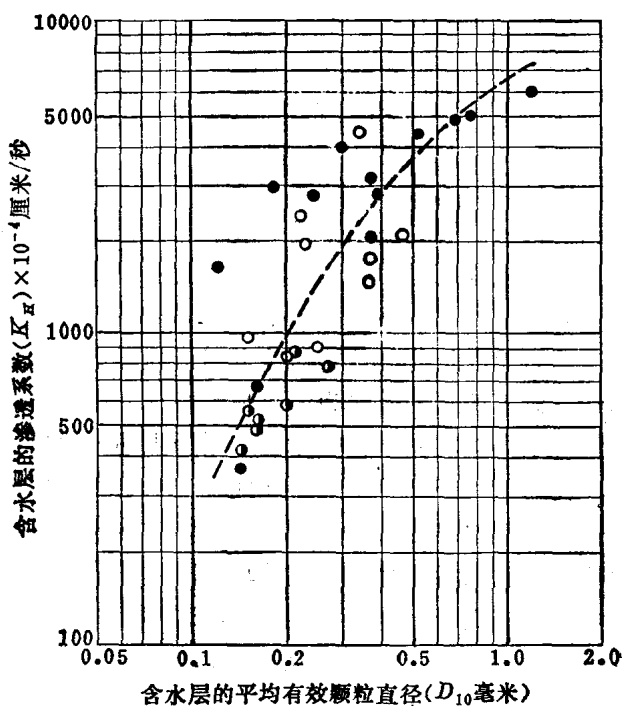


图 1-1 水平渗透系数与有效粒径的关系曲线

第二章 排水减压井的渗流计算

排水减压井系的渗流计算,在于正确地决定井系的井径、井距及井深,以确保井系有足够的排水减压作用,并求得经济合理的井系布置。由于计算方法一般只适用于较简单的情况,因此对于较复杂的情况,应进行电拟试验或砂槽模型试

验，直接选定布置方案，或以此补充计算方法之不足。

第一节 渗流计算公式

1. 渗流计算公式的基本形式

这里所讨论的公式，以下述一般情况为基础：不透水表面层下为有限深度的均质含水层，并在其中设置了长排等距离的不完全井。井排轴线平行于上游水源线和下游排水线，沿轴线当作是无限长的。计算的基本图形如图 2-1 所示。至于井轴线下游不透水表面层为无限长的情况（亦即不向下游排水的情况），以及完全井的情况，则为上述一般情况的特殊情况，因而这些公式也可适用。此外，弱透水表面层在算出其相当于不透水表面层的等效长度后，非均质的含水层在将其化成均质的以后，也可代入计算。

已有许多研究者，如列宾松（Л.С.Лейбензон），马斯卡特（M.Muskat），米德伯汝克-介尔威斯（T.A.Middlebrooks-W.H.Jervis），巴绒（A.Barron），本奈特（P.T.Bennett），恰尔奈（И.А.Чарный），阿维里雅诺夫（С.Ф.Аверьянов），罗曼诺夫（А.В.Ромонов），涅尔宋-斯柯尔良柯夫（Ф.Б.Нельсон-скорняков），阿伯拉木夫（С.К.Абрамов），伯芮索夫（Ю.П.Борисов），阿拉文（В.И.Аравин），陈济生等，对以上所述诸情况进行过研究，得出了理论和经验公式。但是它们在形式上各不相同，且常常很复杂，或者只适用于某特殊情况。我们把这些公式进行整理和分析后，得出了所有完全井和大部不完全井公式的共同基本形式，并给出利用这些公式的计算方法，以便设计人员使用。

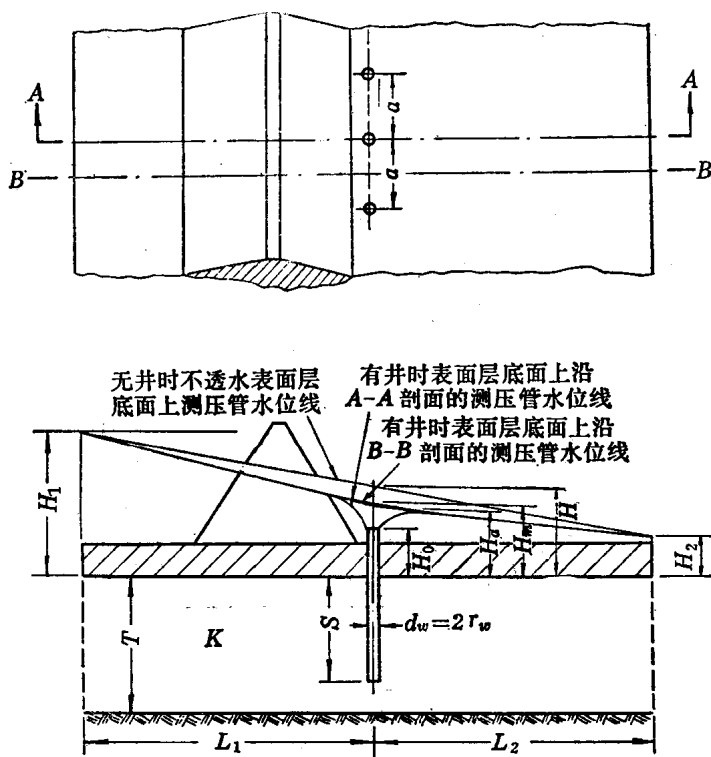


图 2-1 井系渗流计算的基本图形

上述诸理论公式的共同基本形式，在概念上是将完全井系与完全排水沟相比，由于渗流向井内集中，因而增加了附加阻抗；同样，将不完全井系与完全井系相比，又进一步增加了附加阻抗。因此，对于完全井系或者不完全井系，只要在完全排水沟的公式中，考虑进相应的附加阻抗，即可构成各自的公式。很显然，在这种情况下，问题的关键在于求得附加阻抗的解。