水　利　学　报

2013年12月　SHUILI　XUEBAO　第44卷　第12期

文章编号:0559-9350(2013)12-1439-09

强弱透水相间深厚覆盖层坝基的渗流分析

吴梦喜[1]，杨连枝[1]，王　锋[2]

（1. 中国科学院 力学研究所，北京　100190；2. 中水顾问集团 成都勘测设计研究院，四川 成都　610072）

摘要：覆盖层深厚且为强弱透水互层的闸坝基础在我国西南部河流中很常见，防渗墙通常作为坝基渗流控制设施。渗流有限元计算中，该种坝基上下游覆盖层截断边界面位置及其边界条件的设置往往是影响结果的重要因素，对其确定方法的研究具有重要的实用意义。提出了渗流计算中采用缩尺单元方法分析坝基覆盖层截断面边界合理位置的方法。该方法只需要一个计算网格就可实现合理截断面边界位置的确定和正式的渗流计算分析。硬梁包水电站坝基为典型的强弱透水互层，其渗透系数差异达到了3个数量级。初步设计方案稳定渗流计算工况对渗流量基本不影响的上下游不透水截断边界面的位置离坝轴线远达40~80km。尽管河谷宽度与水位差之比高达16，该坝基相对不透水土层的局部缺失使渗流场有显著的三维特征。计算结果中防渗墙毗邻区域弱透水土层内的渗透坡降数倍于允许坡降，然而这些部位在防渗墙完整的前提下渗透破坏的风险却很小。渗透坡降的方向特征及渗透变形发生后的演化特征对渗透稳定风险评价是很重要的。

关键词：覆盖层；防渗墙；渗流；渗透变形

中图分类号：TV698.2　　**文献标识码：**A

1　研究背景

采用防渗墙对覆盖层闸坝地基进行渗流控制已成为深厚覆盖层上筑坝的一个通用技术。有限元渗流分析也已普遍应用于闸坝地基防渗设计方案论证和优化之中。渗流通常在半无限域内发生，而有限元计算则必须在确定的范围内进行，因此确定模型边界位置和边界条件是计算建模的首要问题。然而，大多数渗流计算的模型范围和边界条件仅依据地质资料和工程经验确定，对边界位置和边界条件缺乏充分论证，可能对渗流计算结果的准确性造成较大影响[1]。对于覆盖层闸坝基础，上下游覆盖层截断边界位置及其边界条件往往是影响渗流计算结果的最重要因素，张延忠等[1]已指出这类边界位置对渗流场计算结果的重要影响，然而，对于这类边界的合理位置和合适的边界条件却鲜有深入探讨。中等或弱透水的粉细砂层与强透水的砂卵砾石层同时存在于覆盖层闸坝基础之中是常见的，如四川的吉牛水电站、太平驿水电站、福堂水电站和映秀湾水电站[2-3]。这种土层渗透系数相差1~3个数量级的带有防渗墙的闸坝基础，其渗流性状有其特殊的规律性，虽然这类坝基的渗流分析文献很多，但对其中的渗流规律性探讨却很少。另外，对于深厚覆盖层坝基的渗透稳定性评价，一般也仅依据土层的最大渗透坡降与土层发生管涌等渗透变形的临界坡降和破坏坡降的比较来判别[2,4-6]，而很少探讨渗流方向对渗透稳定性的影响。本文针对硬梁包闸坝基础的渗流分析，提出一种缩尺单元方法来研究闸坝覆盖层截断面边界的合理位置及其选取方法；采用中国科学院力学研究所LinkFEA[7]软件进行渗流有限元计算，分析了该坝基的三维渗流场的特征，并探讨了渗流方向对渗透稳定性的影响。

收稿日期：2013-02-04

基金项目：国家自然科学基金重点项目资助(10932012)

作者简介：吴梦喜(1967-)，男，湖南涟源人，博士，高级工程师，主要从事岩土力学与岩土工程研究。

E-mail：wumx@imech.ac.cn.

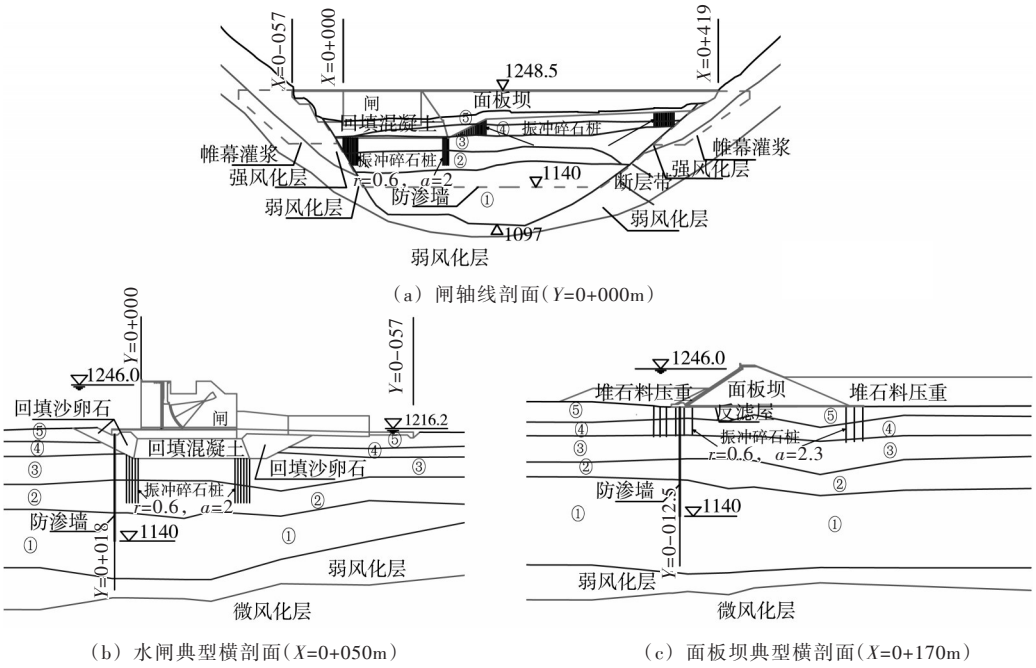
2　工程概况与计算模型

2.1　工程概况　硬梁包水电站位于四川省泸定县境内，是大渡河干流水电规划22个梯级电站的第13级，采用低闸引水的水电开发模式。水库正常蓄水位1 246.0m，下游生态水位为1 216.2m，对应的大坝上下游水位差为29.8m。

坝址河床覆盖层最大厚度为126.5m，自下而上可分为粗细粒土相间的5个土层，分别为：①以粗粒为主的冰水积含漂砂卵砾石层(fglQ3)；②以细粒为主的堰塞堆积粉细砂层(lQ4)；③以粗粒为主的冲积含漂砂卵砾石层(alQ4)；④以细粒为主的堰塞堆积粉细砂层(lQ4)；⑤以中粗粒为主的冲洪堆积含漂卵砾石层(al+plQ4)。覆盖层各土层的渗透特性参数如表1所示，其中②、④粉细砂层透水性弱，渗透系数比①、③、⑤层小3个数量级。硬梁包坝基属于典型的强弱透水互层坝基。

表1　覆盖层的渗透特性

地层	天然密度/(g/cm³)	干密度/(g/cm³)	渗透系数/(m/s)	允许渗透坡降
⑤含漂砂卵砾石	2.15~2.20	1.90~2.00	5×10^{-5}~1×10^{-4}	0.12~0.15
④粉细砂层	1.60~1.70	1.40~1.60	2×10^{-8}~1×10^{-7}	0.50~0.60
③含漂砂卵砾石层	2.20~2.25	2.05~2.10	1×10^{-5}~1×10^{-4}	0.15~0.18
②粉细砂层	1.60~1.70	1.40~1.60	5×10^{-8}~5×10^{-7}	0.40~0.50
①含漂卵砾石层	2.20~2.25	2.05~2.10	1×10^{-5}~1×10^{-4}	0.15~0.20



(a) 闸轴线剖面(Y=0+000m)

(b) 水闸典型横剖面(X=0+050m)

(c) 面板坝典型横剖面(X=0+170m)

图1　硬梁包在可研阶段的设计方案

可研阶段的设计方案如图1所示，闸坝顶全长约476m，从左至右依次为混凝土接头坝、三孔闸室、面板堆石坝。覆盖层内布置厚1m，深80m的悬挂式防渗墙。由于②层和④层(粉细砂层)初步判定为地震可液化土层，在闸基底部，对④层采用开挖回填置换；对②层采用直径为1.2m，间排距为2m的振冲碎石桩处理。碎石桩的底高程为1166.00m，未贯穿覆盖层②。在坝基底部，布置直径为1.2m，间排距为2.3m的振冲碎石桩，贯穿覆盖层④。

2.2　计算模型和计算条件　对于水电站的渗流场计算，张有天有比较系统的论述[8]。一般而言，水电站的有限元渗流分析模型边界在河谷两侧山体的应取至分水岭处，并假定分水岭垂直向下的截断

面为0流量边界；模型的底面一般取为坝基覆盖层以下基岩相对不透水处或足够深以使通过该面的渗流对模型内重点关注区域的影响小于5%，该面按0流量边界处理；而模型顶面则为地面，水面以下为定水头边界，水面以上为降雨入渗边界或溢出面边界；大坝的上下游截断面位置距坝的上游或下游坡脚一般应不小于3~5倍覆盖层底部到坝顶的高度，边界条件则取为不透水边界或定水头边界。

闸坝基础覆盖层截取边界的渗流边界条件通常有两种：(1)忽略边界处的流量，取为不透水边界；(2)忽略该边界面上的水头损失，取为与上部库水位或河水位相同的定水头边界。由于实际的边界条件介于这两者之间，无论取何种边界条件，其计算结果都与实际存在差异。这种差异只有通过将边界面置于距坝轴线足够远处才能消除。一般情况下，若计算模型中通过坝轴线剖面的渗流量与实际渗流量的误差小于5%，则可以认为该截断边界的位置和边界条件是合适的。由于不同坝基的水文地质情况和渗控方案往往差异较大，给出一个统一的方法来估算合理边界位置是很困难的。为此，本文提出一种缩尺单元方法，依据流量等效原则，通过修改边界所在单元的渗透张量来虚拟延伸边界截断面的位置，从而减小所给定的边界条件与实际的差异对渗流场造成的影响，并且通过分析虚拟边界面位置与总体渗流量的关系来分析边界截取位置对渗流场的影响程度，并确定边界面的虚拟位置，从而可以采用同一个有限元剖分网格评估截断面的合理位置，并计算各工况下的渗流场。

由于硬梁包闸坝的坝基渗流主要受上下游水位差引起的覆盖层内渗流影响，估计两岸山体侧向流入模型内的渗流量对过坝轴线剖面的覆盖层和两岸坝基绕渗流量影响不会超过5%，因而忽略两岸山体的侧向补给，河谷两侧的边界条件取为不透水边界，边界截断面位置取坝顶沿坝轴线向外延伸超过5倍坝高即可；而模型范围内水位以上的降雨补给也可以忽略，即取水面以上边界为0流量边界或可能的溢出面边界。三维渗流计算模型如图2所示。模型顶面和底面高程分别位于Z=1400m和Z=1000m处；左、右侧边界面与闸轴线分别相交于X=−400m和X=750m处；上、下游截断分别位于Y=−410m和Y=360m处，上下游截面边界内一层10m宽的单元作为缩尺单元。模型内部含碎石桩的土层作为复合材料，依据达西定律按流量等效原则计算渗透张量。防渗墙和回填部分以外的闸坝混凝土不包括在模型内，闸坝混凝土底面取为不透水边界。模型共包括19 773个20节点的六面体二次单元，84 606个节点。各材料的渗透系数取值如表2所示，覆盖层的渗透系数取表1中的中值。

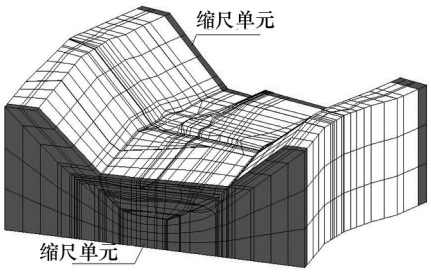


图2　闸坝地基的三维有限元模型

表2　计算中各材料的渗透系数　（单位：m/s）

⑤	④	③	②	①	强风化层	弱风化层	微风化层
7.5×10^{-5}	6×10^{-8}	8×10^{-5}	2.75×10^{-7}	5.5×10^{-5}	1×10^{-6}	5×10^{-7}	1×10^{-7}
防渗墙	帷幕灌浆	反滤层	堆石	断层带	碎石桩	回填砂卵石	回填混凝土
1×10^{-8}	5×10^{-8}	1×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-9}

2.3　边界缩尺单元处理方法　缩尺单元本身是普通单元，按照流量等效的原则，依据达西定律改变单元的渗透张量，可以模拟尺度变化的区域的渗流。通过任意截面的渗流量可表示为

$$Q = A_i k_{ij} J_j \tag{1}$$

式中：Q为渗流量；J为渗透坡降；k为土体的渗透张量；A为剖面的截面积；A_i为截面沿着i方向在法向为i的坐标平面内的投影面积；角标i，j= 1，…，D为笛卡尔直角坐标系的空间坐标轴方向，D为空间的维度(2或3)。

对于三维情况，若要用缩尺单元代表坐标轴2方向尺寸扩大到n倍的区域，由于A_2、J_1和J_3没有改变，缩尺单元的J_2是所代表区域的n倍，A_1和A_3是所代表单元的1/n倍。按照渗流量等效的原则，渗透张量的转换公式为

$$k'_{2j} = k_{2j} \big/ n,\ k'_{1j} = nk_{1j},\ k'_{3j} = nk_{3j} \tag{2}$$

式中：k'为缩尺单元的渗透张量。如果截断面的垂直方向不是坐标轴方向，则可以通过采用局部坐标系和张量的坐标变换，来实现对渗透张量的修改。

以图3所示的坝横剖面二维模型采用普通单元与采用缩尺单元算例计算结果的对比，来检验缩尺单元的有效性。A-A线的位置为Y=-100m，B-B线的位置为Y=250m，在A-A线和B-B线的外侧均设置缩尺单元，单元宽度为10m，左右两侧n分别取50和35，分别代表A-A左侧500m和B-B右侧350m的区域，截取边界取为不透水边界。与之相比较的模型在A-A线左侧设置50排10m厚的普通单元，在B-B线右侧设置35排10m厚的普通单元。比较两个模型在上下游水位差29.8m时的稳定渗流场，通过缩尺单元模型和普通单元模型中A-A和B-B线的水平流速比较见图4所示，两种方法的高程-流速曲线重合，可见缩尺单元能够等效模拟扩大了的区域的渗流。

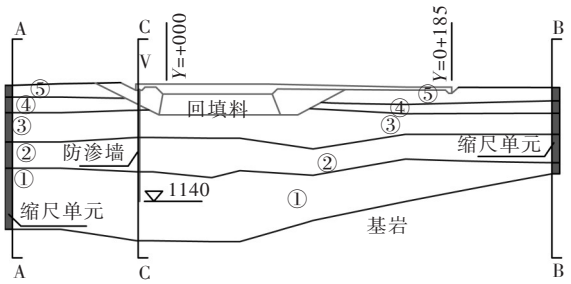


图3　含缩尺单元的二维模型

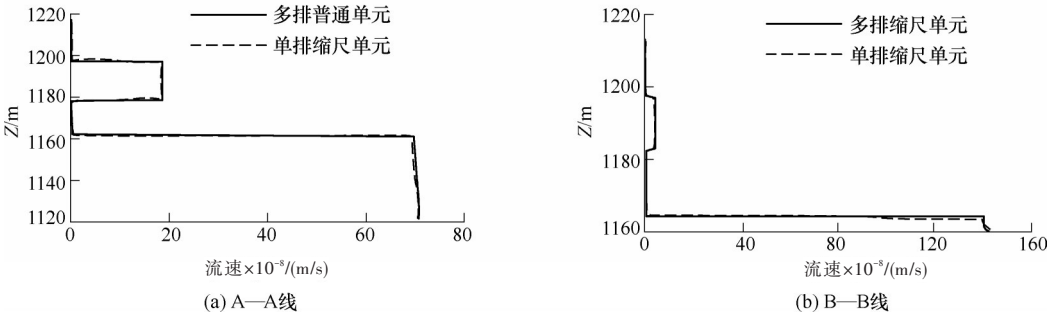
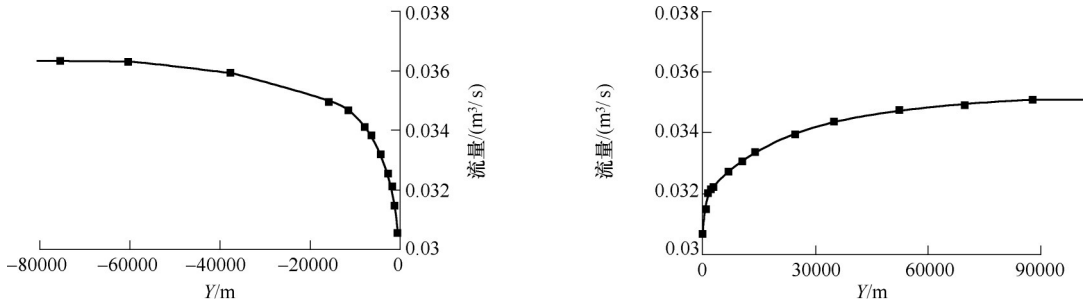


图4　两个模型A-A和B-B线上的水平流速对比

2.4　上下游截取边界的合理位置评估　三维模型中缩尺单元通过取不同的缩尺比，代表不同的截断面位置。计算得到上下游水位差29.8m时坝基的渗流量与上、下游不透水边界位置的关系如图5所示。Y=-400m处上表面的入渗速度为6.324×10^{-6}m/s，其上游测的表面入渗速度线性减小，减小率仅为1.88×10^{-11}(m/s)/m；Y=-350m处上表面的出渗速度为6.196×10^{-6}m/s，其上游测的表面出渗速度线性减小，减小率仅为1.43×10^{-11}(m/s)/m，可见模型表面的入(出)渗速度随至坝轴线的距离的衰减率是很小的。在Y=-410m之外的上游区域的流量比边界位于Y=-410m时大约20%，Y=360m之外的下游区域的渗流量比边界位于Y=360m的渗流量增大了约10%。对于硬梁包这种强弱透水互层悬挂式防渗墙坝基，上下游截断面位置到坝轴线的距离取水位差的10倍，渗流量的误差还在5%以上，误差甚至达到了总的渗流量的20%，可见截断面的位置，不能简单地取为坝高的若干倍，而应根据具体情况进行评估。本模型中强透水层的渗透系数比弱透水层大3个数量级，对于相同的过水面积和流量，强透水层中的渗透坡降比弱透水层相应地小3个数量级，因而本模型中第③层在防渗墙前后沿水平方向水头降落缓慢，因而这层上部土层④的垂直渗透坡降沿水平方向变化缓慢，这是离坝轴线水平距离很远的地方的垂直入渗量仍然比较大的原因。可见对于强弱透水互层闸坝基础，上下游覆盖层截断边界面的合理位置与强弱透水层的渗透系数的比例直接相关，当然也与各层的相对厚度有关，还与防渗墙伸入覆盖层地基的相对深度有关，合理的截断面位置，不能简单地取为其与坝轴线或坝坡脚线的水平距离坝高的若干倍，也很难建立起一个评估公式，因此在正式的渗流计算以前一般先进行一个

评估比较稳妥。缩尺单元所模拟的边界面的合理位置，应该依据边界面距坝轴线的水平距离与总的渗流量关系曲线接近为水平为止。另外，也可以通过比较边界面处分别采用0流量边界与定水头边界总的渗流量的差异来判别。对于上游截断面边界，如果取为不透水边界，对于模型本身的情况，边界面上的水头除上边线等于实际水头外，其余部位均小于实际水头，流入域内的渗流总是小于实际值；如果取为等于上游水位的等水头边界，则边界面上的水头，除上边线等于实际水头，其余部位均大于实际水头，则流入域内的渗流总是大于实际值，如果这两种边界条件的渗流量差异，小于总渗流量的10%，则边界面的位置是合理的。相应地，对于下游的情况，边界截断面上则是取为不透水边界，流量则小于实际值，而边界取等于下游水位的等水头值，则流量大于实际值，如果这两种边界条件的渗流量差异，小于总渗流量的10%，则边界面的位置是合理的。

缩尺单元方法，只需要一个计算网格模型，既可以用于合理边界面位置评估，也能进行正式的渗流计算分析。



(a) 上游边界(下游边界固定在Y=360m)　　(b) 下游边界(上游边界固定在Y=−410m)

图5　坝基的渗流量与上下游边界面位置的关系曲线

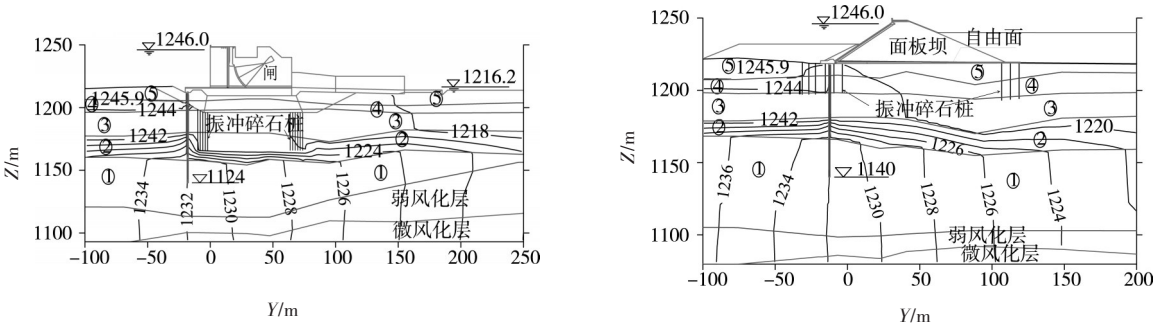
取不透水边界条件时，采用缩尺单元把实际计算边界从坝轴线外数百米推远至数十公里(40~80km)以外，相当于弹性力学中计算地震应力时边界单元设为无限元来计算无限边界来模拟应力波的透射，并不是说实际情况河道顺直，地质条件没有变化，而是使边界的模拟能够贴近介于完全不透水与截断面边界取定水头边界条件两者之间的实际情况。

3　坝基三维稳定渗流分析

三维稳定渗流计算中上游水位为1 246.0m，下游水位为1 216.2m。上、下游缩尺单元的Y向缩尺倍数分别取为4 000和8 000，代表不透水边界位于Y=−40400m和Y=80350m处。闸坝地基的总的渗流量为$4.495\times10^{-2}m^3/s$(3884m^3/d)。

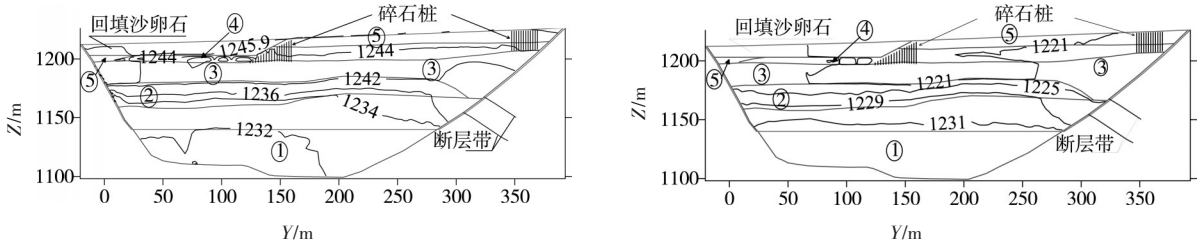
3.1　坝基的水头变化特征　闸坝基础典型剖面覆盖层中(不含防渗墙，以下各图同此)的水头等值线如图6所示，从水头等值线的负梯度方向可以看出覆盖层中的渗流始于库底垂直入渗，穿过⑤、④、③、②层进入①层，绕过防渗墙底部，以向上方向进入下游河床表面。当然，防渗墙前后存在较大水头差，防渗墙混凝土是渗透性较小的多孔介质，渗流也通过防渗墙从其上游进入其下游。②层中水头等值线最密集；①层虽然渗透系数大，由于水流是平行层面方向，过水面积较小，因而该层中也有较大的水头降落；③层中则由于渗透系数大、防渗墙上游渗流方向基本垂直层面，过水面积大而等水头线很稀疏。防渗墙下游碎石桩部位渗透性高因而水头等值线稀疏，其下部覆盖层②等值线密集，该处竖向平均渗透坡降大于0.8。

防渗墙上、下游面覆盖层内的水头等值线如图7所示。由于④和②层分别在左、右岸厚度减薄甚至完全缺失，①、③层中近②、④层缺失处水头等值线倾斜，由于①、③层渗透系数比②、④层大3个数量级，可推缺失处的渗流量在整个坝基流量中占比是很大的，显示显著的三维渗流特征。本工程河谷宽度与水位差之比达到了16，按照一般的认识，其渗流应具二维特征。可见对于强弱透水互层坝基，如果土层不完整或弱透水层厚度不均匀，即使河谷宽度与水位差之比很大，其三维渗流



（a）闸基　　（b）坝基

图6　闸坝基础典型横剖面水头等值线(单位：m)



（a）上游面　　（b）下游面

图7　防渗墙上、下游面处覆盖层的水头等值线(单位：m)

效应也不容忽视。

3.2　坝基的渗透坡降与内部侵蚀风险判别　闸典型剖面与毗邻防渗墙上、下游面覆盖层内的渗透坡降分别如图8、图9所示。⑤和③层内渗透坡降都小于0.1，均小于允许坡降。覆盖层①在典型闸剖面的坡降在0.03~0.19之间，坡降最大值出现在防渗墙底部，接近于该层的允许坡降(0.15~0.20)的上限值。①层与右岸断层破碎带接触处渗透坡降较大，最大值0.59，超过允许渗透坡降，细颗粒有通过断层裂隙从防渗墙上游进入下游的较大侵蚀风险。防渗墙附近土层渗透坡降距离墙越近其值越大，在防渗墙上、下游面左岸闸底部回填砂卵石下，坡降在2.42~3.20之间，在碎石桩部位大部分区域的坡降在0.7~2.0之间，远大于该层的允许坡降0.5~0.6。②层的渗透坡降在防渗墙上游侧的分布规律与④层一致，最大值达到1.14，远大于该层的允许坡降0.4~0.5，防渗墙下游侧该层与碎石桩底部相接处的坡降大于0.8，大于该层允许坡降0.4~0.5。按照一般的判断，④、②两层在层间不存在反滤关系的条件下，发生渗透破坏是毫无疑问的。然而，图8显示渗透坡降在防渗墙的前后土体内急剧变化，土层表面最大，这个特征比较怪异。下面对该处渗透坡降情况进一步展示和分析。

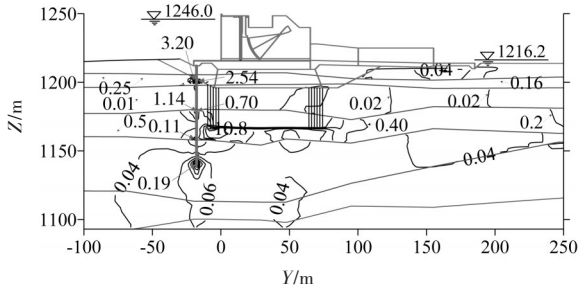
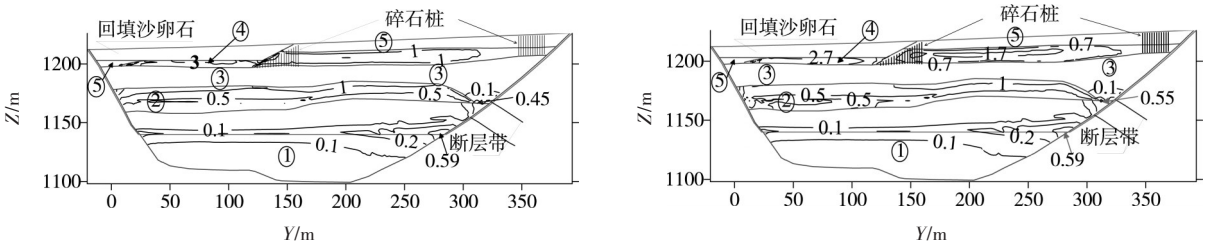


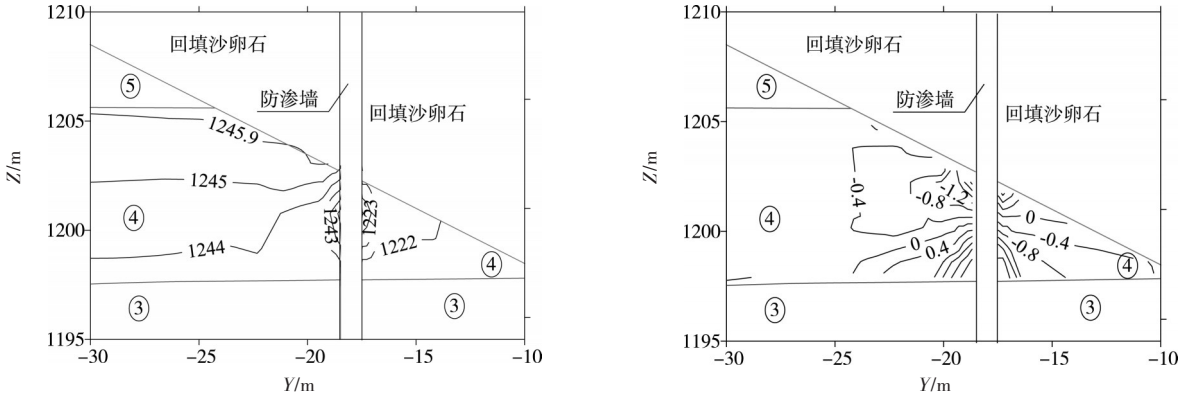
图8　闸典型剖面的渗透坡降等值线

图10为闸典型剖面④和②层毗邻防渗墙土体的水头和Z方向水头梯度。水头等值线图的负梯度方向即渗流方向，图10(a)中可看出④层土体的渗流方向(水头等值线梯度负方向)是从防渗墙上游该层土的上表面和下表面进入并穿过防渗墙(虽然渗透系数相对较小，防渗墙还是透水的)，经过防渗墙下游④层土体流向其上表面和下表面。④层毗邻防渗墙上游区域渗流指向土层内，一般区域则渗流自上向下，且渗透坡降在0.2~0.3之间，小于允许坡降值，内部侵蚀可能性很小。④层毗邻防渗墙



（a）上游面　　（b）下游面

图9　防渗墙上、下游面覆盖层内的渗透坡降等值线

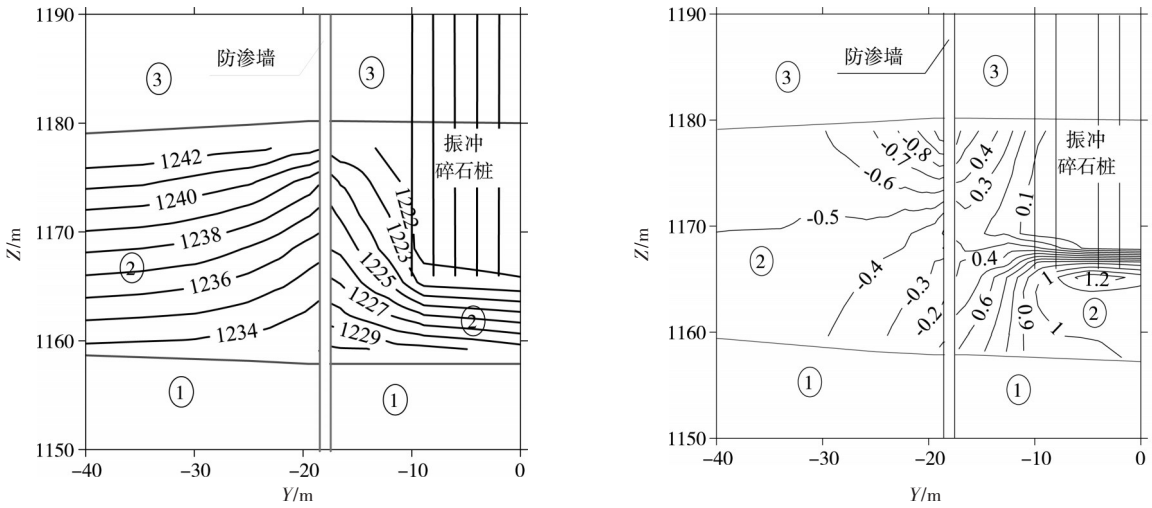


（a）水头（单位：m）　　（b）Z方向的水头梯度

图10　闸典型剖面④层毗邻防渗墙土体

下游区域渗流指向土层外，则会出现渗透变形，但如果防渗墙本身完好，则在发生渗透变形后由于渗透系数升高，而其上游渗流路径上的防渗墙和土层渗透系数不变，因而④层土防渗墙后局部的渗透坡降会随之下降，不会发生持续的内部侵蚀。

图11为闸典型剖面②层毗邻防渗墙土体内的水头和Z方向水头梯度。毗邻防渗墙区域②层土墙上游渗流方向向下，垂直方向水头梯度土层上部大下部小，防渗墙10m外垂直方向的梯度的绝对值在0.2~0.52之间，渗透变形的风险较小。墙下游渗流方向向上，Z方向的水头梯度绝对值在碎石桩下较大。图12是②层土内振冲碎石桩底面的渗透坡降等值线，碎石桩底部面的渗透坡降大部分介于0.8~1.6之间。由于碎石桩部位土体的渗透系数是采用碎石桩与土体的复合材料等效渗透系数，其值小于碎石桩本身的渗透系数，碎石桩下部的实际渗透坡降大于计算值，而桩体碎石与②层土体之间不存在反滤关系，因而桩底土层将发生内部侵蚀破坏。



（a）水头（单位：m）　　（b）Z方向的水头梯度

图11　闸典型剖面②层毗邻防渗墙土体

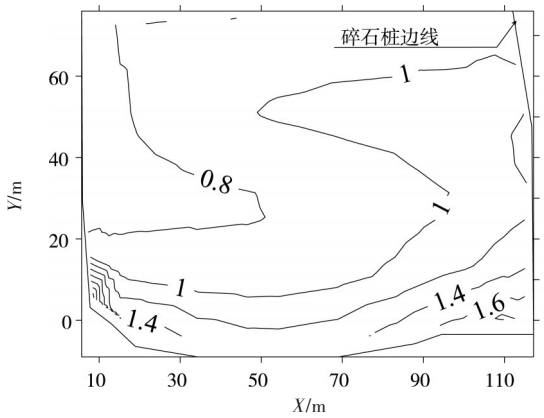


图 12　②层内振冲碎石桩底面的渗透坡降等值线

3.3　渗控方案的总体评价　从上面的分析可以看出，防渗墙附近覆盖层内除了⑤和③层之外，其他3层渗透坡降大于允许坡降。虽然④层土体内渗透坡降远远大于允许坡降，但在防渗墙完整的前提下，只在防渗墙下游局部存在渗透变形，且不会发生持续的内部侵蚀。①层土体在右岸与断层带接触处会发生内部侵蚀。可以通过对断层处灌浆封闭断层内的裂隙连通通道来处理。闸段碎石桩下②层土体会发生与碎石桩的接触流失，这是这个方案不能成立的主要原因。

4　结论

本文基于硬梁包水电站闸坝地基的三维有限元渗流分析，获得如下结论：(1)用悬挂式防渗墙控制渗流的强弱透水互层覆盖层地基，河谷上下游不透水截断面边界的合理位置有可能比上下游水位差高3个数量级，上下游覆盖层离坝轴线数10倍远的地方可能对坝基渗流场仍有重要影响，因而截断边界面的位置需要通过渗流计算来评估确定；(2)采用在截断面内设置缩尺单元，通过改变渗透张量可以模拟尺度放大的区域；采用缩尺单元方法可以用一个固定的网格研究模型截断边界的合理位置和进行渗流计算分析；(3)用防渗墙控制渗流的强弱透水互层覆盖层地基，弱透水层的局部不完整对渗流场有较大影响；即使河谷宽与水位差之比很大，渗流场仍然可能不具备二维渗流特征，而应进行三维渗流分析；(4)渗透稳定分析不但要关注土层的最大渗透坡降，还要分析渗流方向与土层渗透破坏的关系。对于有渗透变形风险的区域，还要进一步分析其演化是否导致内部侵蚀的持续发生而造成堤坝基础或上部结构的破坏。

参　考　文　献：

[1]　张延忠，廖华胜，刘达，等．闸坝地基渗流计算中边界条件敏感性分析研究[J]．水力发电学报，2008，27(1)：118-123．

[2]　李永红，姜媛媛．吉牛水电站深覆盖层闸基渗透稳定评价[J]．水电站设计，2010，26(3)：44-47．

[3]　杨光伟，马耀，胡永胜．深厚覆盖层上闸坝基础防渗设计与基础处理[J]．水电站设计，2011，27(1)：34-39，42．

[4]　余进，张连明，吴梦喜，等．坝基防渗墙及墙下灌浆帷幕渗流及渗透稳定性分析[J]．水电能源科学，2009，27(2)：68-70，78．

[5]　沈振中，张鑫，陆希，等．西藏老虎嘴水电站左岸渗流控制优化[J]．水利学报，2006，37(10)：1230-1234．

[6]　王学武，党发宁，蒋力等．深厚复杂覆盖层上高土石围堰三维渗透稳定性分析[J]．水利学报，2010，41(9)：1074-1078，1086．

[7]　Wu M．A finite-element algorithm for modeling variably saturated flows[J]．Journal of Hydrology，2010，394(3-4)：315-323．

[8]　张有天．岩石水力学与工程[M]．北京：中国水利水电出版社，2005．

Seepage analysis of a dam foundation with deep deposit composed of strong and weak permeable layers alternately

WU Meng-xi[1], YANG Lian-zhi[1], WANG Feng[2]

(1. *Institute of Mechanics*, *CAS*, *Beijing* 100190, *China*;
2. *Hydro China Chengdu Engineering corporation*, *Chengdu* 610072, *China*)

Abstract: Dam foundations with deep deposit composed of strong and weak permeable layers alternatively are common in rivers in the south-west China. Cutoff wall is usually used to control the seepage of such a foundation. The upstream and downstream truncated boundary positions and conditions are important factors which affect the numerical simulation results of the seepage of the dam site. Research on the methodology for determining the truncated boundary position and condition is of importance for application. A scale reduced element method is proposed to analysis the reasonable upstream and downstream boundary position. Only one mesh is needed for the analysis of reasonable boundary positions and the seepage analysis. The foundation of Ying-liang-bao dam consists of 5 layers of sand or gravel soils which are permeable strong and weak alternatively with a total depth up to 126.5 m, the difference of the coefficient of permeability reaches 3 orders of magnitude. The seepage field and the internal erosion risk of the preliminary design scheme of Ying-liang-bao dam are analyzed. A reasonable distance of the upstream or downstream boundary to the dam axis is up to 40 to 80 km. Although the ratio of the width of the valley to the difference of the upstream and downstream water level is as high as 16 where usually a two dimensional flow will take place, the partial loss of weak permeable layers in the foundation causes remarkable features of three dimensional flow. The hydraulic gradient in soils adjacent to the concrete anti-seepage wall is several times of the allowable values, the risk of internal erosion is still low in condition of an undamaged wall. The character of the seepage gradient where the hydraulic gradient is greater than the allowable value and the evolution of the internal erosion while it occurs should be further investigated for a seepage stability risk assessment.

Key words: covering layers; cutoff wall; seepage; internal erosion

（责任编辑：李　琳）

2012年度《水利学报》优秀论文公告

为促进水利学科发展、科技进步及人才成长，鼓励广大作者写出更多更好的作品，进一步提高期刊学术质量，经《水利学报》编委会推荐、审定，以下10篇论文为2012年度《水利学报》优秀论文。

2012年《水利学报》优秀论文名单

第一作者姓名	第一作者单位	论文题目	所在刊期
朱伯芳	中国水利水电科学研究院	论混凝土坝的使用寿命及实现混凝土坝超长期服役的可能性	第1期
姚仰平	北京航空航天大学	横观各向同性土强度与破坏准则的研究	第1期
包红军	中国气象局公共气象服务中心	基于集合预报的淮河流域洪水预报研究	第2期
王兆印	清华大学	消能结构防治泥石流研究——以文家沟为例	第3期
党发宁	西安理工大学	非对称高面板堆石坝应力变形特点及改善对策	第5期
宋松柏	西北农林科技大学	具有跳跃变异的非一致分布水文序列频率计算方法研究	第6期
郭旭宁	武汉大学	跨流域供水水库群联合调度规则研究	第7期
程春田	大连理工大学	大规模复杂水电优化调度系统的实用化求解策略及方法	第7期
胡春宏	中国水利水电科学研究院	黄河下游河道萎缩过程中洪水水位变化研究	第8期
王晓玲	天津大学	三维溃坝洪水在复杂淹没区域演进的数值模拟	第9期