



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116971338 A

(43) 申请公布日 2023. 10. 31

(21) 申请号 202310954516.9

(22) 申请日 2023.07.31

(71) 申请人 中交一公局第七工程有限公司

地址 451450 河南省郑州市中牟县大孟镇
(平安大道79号)

(72) 发明人 蔡东波 柴少强 李春早 张汉
刘小强 闫东杰 苏克静 姜竣博

(74) 专利代理机构 重庆强大凯创专利代理事务
所(普通合伙) 50217

专利代理师 康奇刚

(51) Int.Cl.

E02B 7/00 (2006.01)

E02B 7/10 (2006.01)

E02B 7/06 (2006.01)

E02B 3/16 (2006.01)

E02B 3/12 (2006.01)

E02D 15/02 (2006.01)

G06F 30/13 (2020.01)

G06F 30/23 (2020.01)

G06F 111/10 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

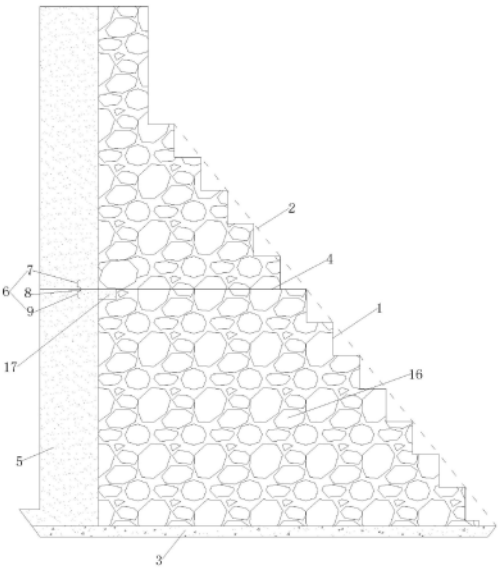
权利要求书2页 说明书9页 附图8页

(54) 发明名称

堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法

(57) 摘要

本发明涉及水利工程技术领域,公开了堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,包括以下:S1,基岩面的处理及清洗场地的准备,基岩面处理完成后浇筑混凝土垫层;S2,模板的安装;S3,堆石的筛选及入仓;S4,自密实混凝土生产及运输;S5:自密实混凝土的浇筑;S6,自密实堆石混凝土的养护;S7,通过数值模拟法和刚体极限平衡法对阶梯式重力坝体的安全性能进行校核。本发明的技术方案能够降低安全作业的风险和施工成本,同时,提高了施工效率,缩短了施工周期。



1.堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,其特征在于:包括以下步骤:

S1,基岩面的处理及清洗场地的准备,基岩面处理完成后浇筑混凝土垫层;

S2,模板的安装,模板包括迎水面模板和背水面模板,迎水面模板通过安装支架进行固定,背水面采用阶梯式设计,且阶梯阳角连接线与原斜坡面所在线位置一致,即阶梯相对于原斜坡面向坝体内部缩进,阶梯尺寸为 $1.6\text{m} \times 2.0\text{m}$,背水面模板为单层模板,且单层模板采用可循环使用的背架植入锚地钢筋和螺栓进行加固;

S3,堆石的筛选及入仓;

第一步,堆石的筛分及清洗,堆石的粒径范围为 $30 \sim 160\text{cm}$;

第二步,堆石入仓,采用“倒退法”入仓,即由迎水面向背水面布仓,在距离迎水面模板50厘米以外的空间内堆砌堆石层;

S4,自密实混凝土生产及运输,采用现场拌和的方式对自密实混凝土进行拌和,拌和时,水胶比变化范围控制在 $-0.02 \sim 0.01$ 内;

S5,自密实混凝土的浇筑;

第一步,浇筑防渗面板;

第二步,堆石层自密实混凝土的浇筑;

S6,自密实堆石混凝土的养护;

S7,通过数值模拟法和刚体极限平衡法对阶梯式重力坝体的安全性能进行校核。

2.根据权利要求1所述的堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,其特征在于:在S2中,模板还包括压槽模板,压槽模板呈L型,压槽模板包括依次连接的连接部和成型部,连接部安装在迎水面模板的上端,成型部的一个侧面与防渗面板接触,成型部的宽度为15厘米,成型部的下端伸入堆石层内。

3.根据权利要求2所述的堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,其特征在于:在S5的第一步中,在防渗面板的下游设有止水片,止水片包括依次连接的上连接部、止水部和下连接部,连接部的底部设有卡槽,上连接部卡在卡槽内,下连接部与上一层坝体的防渗面板一体浇筑,上连接部与下一层坝体的防渗面板一体浇筑,且与层间施工缝相互垂直。

4.根据权利要求3所述的堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,其特征在于:在S5的第一步中,止水部呈U型,位于层间施工缝处,且止水部的开口方向位于靠近迎水面的一侧。

5.根据权利要求4所述的堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,其特征在于:在S5的第二步中,采用泵送的方式浇筑自密实混凝土,在浇筑自密实混凝土前,需要先浇筑 $1 \sim 3\text{m}^3$ 的自密砂浆,再浇筑自密实混凝土。

6.根据权利要求5所述的堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,其特征在于:在S3的第二步中,在堆石入仓前,待混凝土垫层的强度大于 5MPa 时,对混凝土垫层的表面进行凿毛处理,再堆砌堆石层,不同直径的块石相互搭配使用。

7.根据权利要求6所述的堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,其特征在于:在S3的第二步中,堆石层外露面所含有的粒径小于 20cm 的石块数量小于 $10\text{块}/\text{m}^2$ 。

8.根据权利要求7所述的堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,其特征在于:在步骤S6中,自密实堆石混凝土的养护,根据气温变化情况对自密实堆石混凝土进行养护。

9.根据权利要求8所述的堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,其特征在于:S4中,自密实混凝土采用双卧轴强制式拌和机拌制,自密实混凝土拌和时要按照顺序上料,首

先将称量好的骨料和胶凝材料分别投入拌和机进行干拌,再加入水和外加剂继续搅拌60s,拌制完成后,并对混凝土的流动度和扩散度进行测试。

10.根据权利要求9所述的堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,其特征在于:在S7中,包括以下步骤:

第一步,采用ABAQUS软件建立数值模拟有限元模型;

第二步,采用ABAQUS软件自动创建一个初始分析步:确定施加边界的条件,并创建荷载分析步,根据《混凝土重力坝设计规范》确定用于施加的荷载;

第三步,分析数据模拟的结果:分别在正常蓄水位工况、设计洪水位工况以及校核洪水位工况下,研究重力坝在不同静力荷载条件下的位移及应力分布变化规律,分析重力坝正常运行的安全性。

第四步,通过刚体极限平衡法计算阶梯式重力坝的抗滑稳定安全系数。

堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及水利工程技术领域,具体涉及一种堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法。

背景技术

[0002] 堆石混凝土是在自密实混凝土技术的基础上发展出的一种新型的大体积混凝土施工方式,是利用自密实混凝土的高流动性、良好的抗分离性能以及自流动的特点,在粒径较大的块石内随机充填堆石空隙形成完整密实的混凝土。

[0003] 现有的重力坝背水面的坝体表面通常设计成斜坡式,斜坡式重力坝的背水面通常采用背架式高强模板,在对背架式高强模板进行安装时,需要采用塔吊对背架式高强模板进行吊装,并需要预留上一仓模板作为支撑母模,为背架式高强模板提供支撑,同时,也要采用内拉加固钢筋对背架式高强模板进行加固。斜坡式重力坝在施工中存在的问题是:1.在对背架式高强模板进行加固时,作业人员的身体处于倾斜作业状态,增加了安全作业的风险;2.由于内拉加固钢筋的使用,增加了钢筋的使用,同时,内拉加固钢筋会占用堆石层的空间,降低了堆石率,从而增加了混凝土的使用量,增加了施工成本;3.由于在对背架式高强模板进行安装时,需要采用塔吊进行吊装,并需要预留上一仓模板作为支撑母模,为背架式高强模板提供支撑,因此,增加了母模和塔吊的投入,增加了施工成本,同时降低了施工效率,延长了施工周期。

发明内容

[0004] 本发明意在提供一种堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,以降低安全作业的风险和施工成本,同时,提高了施工效率,缩短了施工周期。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法,包括以下步骤:

[0006] S1,基岩面的处理及清洗场地的准备,基岩面处理完成后浇筑混凝土垫层;

[0007] S2,模板的安装,模板包括迎水面模板和背水面模板,迎水面模板通过安装支架进行固定,背水面采用阶梯式设计,且阶梯阳角连接线与原斜坡面所在线位置一致,即阶梯相对于原斜坡面向坝体内部缩进,阶梯尺寸为 $1.6\text{m}\times 2.0\text{m}$,背水面模板为单层模板,且单层模板采用可循环使用的背架植入锚地钢筋和螺栓进行加固;

[0008] S3,堆石的筛选及入仓;

[0009] 第一步,堆石的筛分及清洗,堆石的粒径范围为 $30\sim 160\text{cm}$;

[0010] 第二步,堆石入仓,采用“倒退法”入仓,即由迎水面向背水面布仓,在距离迎水面模板50厘米以外的空间内堆砌堆石层;

[0011] S4,自密实混凝土生产及运输,采用现场拌和的方式对自密实混凝土进行拌和,拌和时,水胶比变化范围控制在 $-0.02\sim 0.01$ 内;

[0012] S5,自密实混凝土的浇筑;

[0013] 第一步,浇筑防渗面板;

[0014] 第二步,堆石层自密实混凝土的浇筑;

[0015] S6,自密实堆石混凝土的养护;

[0016] S7,通过数值模拟法和刚体极限平衡法对阶梯式重力坝体的安全性能进行校核。

[0017] 本方案的有益效果为:与现有技术相比,本技术方案存在以下优势:

[0018] 1.由于背水面采用阶梯式设计,且阶梯阳角连接线与原斜坡面所在线位置一致,即阶梯相对于原斜坡面向坝体内部缩进,因此,本技术方案的重力坝节约了施工成本,降低了施工难度,提高了施工效率、便于施工质量的控制。

[0019] 2.由于本技术方案是采用可循环使用的背架植入锚地钢筋和螺栓对背水面模板进行加固的,因此,本技术方案省去了内拉加固钢筋,减少了钢筋的使用量,降低了施工成本;同时,本技术方案由于省去了内拉钢筋,使得在对背水面模板进行加固时,不会占用堆石层的空间,提高了堆石率,减少了混凝土的使用量,进一步降低了施工成本。

[0020] 3.由于背水面采用阶梯式设计,阶梯尺寸为 $1.6\text{m}\times 2.0\text{m}$,因此,在对背水面模板进行安装时,无需母模支撑,节约了母模的投入,也不需要使用塔吊对模板进行吊装,以现浇阶梯面为基准面对背水面模板进行安装,降低了作业面的高度,从而降低了高处作业存在的安全隐患;同时,由于本技术方案省去了塔吊安装模板的工序,且阶梯式坡面不需要反斜角施工,作业面大,模板的周转效率高,提高了施工效率,缩短了施工周期。

[0021] 4.阶梯式断面背水面模板的安装和拆卸方面,模板易于加固,稳定性好,同时易于堆石摆放和基面碎石清理,易于控制下游面混凝土保护层厚度,使得阶梯面的自密实混凝土填充的更加密实,提高了浇筑质量。

[0022] 5.通过数值模拟法和刚体极限平衡法对阶梯式重力坝体的安全性能进行校核,阶梯式重力坝满足安全性要求。

[0023] 本技术方案是在距离迎水面模板50厘米以外的空间内堆砌堆石层的,因此,在浇筑防渗面板时,未浇筑的堆石层作为模板,省掉了迎水面模板内侧模板的支模工序,简化了施工程序,降低了施工成本,提高了施工进度,同时,防渗面板能够抵抗渗透水压的冲击,从而达到防渗的效果;与防渗面板用其他的混凝土浇筑相比,由于防渗面板是用自密实混凝土浇筑的,能够达到与堆石层自密实混凝土同时浇筑的目的,省去了拌制其他混凝土的工序,同时,自密实混凝土具有流动性好,抗分离性能好的优势,能够增加大坝的防渗效果。

[0024] 将水胶比变化范围控制在 $-0.02\sim 0.01$ 内,在保证凝固质量的基础上充分的将混凝土的流动性保持在合适的范围值,从而使得自密实混凝土均匀的填充在堆石层内。

[0025] 进一步,在S2中,模板还包括压槽模板,压槽模板呈L型,压槽模板包括依次连接的连接部和成型部,连接部安装在迎水面模板的上端,成型部的一个侧面与防渗面板接触,成型部的宽度为15厘米,成型部的下端伸入堆石层内。

[0026] 本方案的有益效果为:由于压槽模板的设置,在浇筑堆石层的自密实混凝土时,会在靠近防渗面板的一侧形成一个宽15厘米的凹槽,而堆石的粒径大于 30cm ,在堆砌下一层坝体的堆石层时,堆石不会填充到上一层坝体的凹槽内,在浇筑下一层坝体时,凹槽内填充的是纯的自密实混凝土,在防渗面板和凹槽的双层保护下,提高了施工缝的防渗效果;由于在堆石的过程中,石块会有一个面刚好贴合在上一层坝体中堆石层自密实混凝土的基面上,石块与自密实混凝土贴合的面内可能会出现自密实混凝土穿不进去的情况,从而增加

了大坝渗漏的风险,而凹槽的设置,在浇筑下一层坝体时,自密实混凝土通过凹槽能够流动到贴合的面内,降低了大坝渗漏的风险;如果迎水面的水通过层间施工缝穿过防渗面,流到凹槽部位,水要通过凹槽部位,则水需要拐弯先流到凹槽的底部,再流到凹槽的上部,从而起到防渗的效果。

[0027] 进一步,在S5的第一步中,在防渗面板的下游设有止水片,止水片包括依次连接的上连接部、止水部和下连接部,连接部的底部设有卡槽,上连接部卡在卡槽内,下连接部与上一层坝体的防渗面板一体浇筑,上连接部与下一层坝体的防渗面板一体浇筑,且与层间施工缝相互垂直。

[0028] 本方案的有益效果为:如果连接部上没有设置卡槽,通常是先浇筑防渗面板,在防渗面板初凝前,将止水片的下连接部插入上一层坝体的防渗面板中,对下连接部进行固定,由于在将止水片的下连接部插入上一层坝体防渗面板的过程中,止水片需要克服自密实混凝土的阻力,使得在插止水片的过程中,容易损坏止水片且更加费力;而卡槽的设置,能够提前将止水片固定在压槽模板上,在浇筑防渗面板时,能够在浇筑防渗面板同时将止水片的下连接部浇筑在上一层坝体的防渗面板中,该过程施工更加省力、方便,且不易造成止水片的损坏。由于止水片的设置,能够进一步提高大坝的防渗效果。

[0029] 进一步,在S5的第一步中,止水部呈U型,位于层间施工缝处,且止水部的开口方向位于靠近迎水面的一侧。

[0030] 本方案的有益效果为:由于止水部呈U型,且止水部的开口方向位于靠近迎水面的一侧,如果水通过层间施工缝进入防渗面板内,而U型的止水部能够起到缓冲的作用,能够防止大坝的渗漏。

[0031] 由于止水部呈U型,在浇筑下一层坝体的过程中,由于自密实混凝土在重力的作用下压在止水部,将止水部压变形,而止水部变形后,会在止水部产生折痕,当水从防渗面板渗入止水部时,水就会侵蚀止水部的折痕处,会造成止水片的损坏,从而缩短了止水片的使用寿命;而由于止水片的上连接部是卡在卡槽内,当拆卸压槽模板时,向上提起压槽模板,压槽模板会带动止水片向上提起,从而使得止水片复原。

[0032] 进一步,在S5的第二步中,采用泵送的方式浇筑自密实混凝土,在浇筑自密实混凝土前,需要先浇筑1-3m³的自密砂浆,再浇筑自密实混凝土。

[0033] 本方案的有益效果为:由于采用泵送的方式浇筑自密实混凝土,先浇筑1-3m³的自密砂浆起到润滑管道的作用,在浇筑自密实混凝土时,防止管道堵塞,提高浇筑自密实混凝土时的可控性。

[0034] 进一步,在S3的第二步中,在堆石入仓前,待混凝土垫层的强度大于5MPa时,对混凝土垫层的表面进行凿毛处理,再堆砌堆石层,不同直径的块石相互搭配使用。

[0035] 本方案的有益效果为:通过对混凝土垫层进行凿毛处理,在对堆石层浇筑自密实混凝土后,能够提高堆石层自密实混凝土与混凝土垫层的结合强度。

[0036] 不同直径的块石相互搭配使用,目的是避免块石之间空隙过大导致堆石率低而使得自密实混凝土用量过大;堆石过程中也要尽量避免不同块石比较平整的两个面相互接触,从而导致块石之间缝隙较小,自密实混凝土无法填充密实;若无法避免两个平面接触,应采用小石块支垫,保证混凝土浇筑完成后坝体的密实度。

[0037] 进一步,在S3的第二步中,堆石层外露面所含有的粒径小于20cm的石块数量小于

10块/m²。

[0038] 本方案的有益效果为:当堆石层外露面所含有的粒径小于20cm的石块数量小于10块/m²。堆石层依然可以保持合适的自然间隙,从而保证了自密实堆石混凝土的填充效果。

[0039] 进一步,在步骤S6中,根据气温变化情况对自密实堆石混凝土进行养护。

[0040] 本方案的有益效果为:通过对自密实堆石混凝土进行养护,能够使得自密实堆石混凝土的强度等性能得到充分的发展,达到最佳状态,从而提高大坝的抗渗性能和强度。

[0041] 进一步,在S4中,自密实混凝土采用双卧轴强制式拌和机拌制,自密实混凝土拌和时要按照顺序上料,首先将称量好的骨料和胶凝材料分别投入拌和机进行干拌,再加入水和外加剂继续搅拌60s,拌制完成后,并对混凝土的流动度和扩散度进行测试。

[0042] 本方案的有益效果为:双卧轴强制式拌和机可以产出偏粉料的搅拌物,有效的提高自密实混凝土的流动性,骨料和胶凝材料干拌的目的也在于提高粉碎性和混合均匀度,之后再加入水和外加剂可以提高流动性,而凝胶材料的控制则主要为了保持胶合效果。

[0043] 进一步,在S7中,包括以下步骤:

[0044] 第一步,采用ABAQUS软件建立数值模拟有限元模型;

[0045] 第二步,采用ABAQUS软件自动创建一个初始分析步:确定施加边界的条件,并创建荷载分析步,根据《混凝土重力坝设计规范》确定用于施加的荷载;

[0046] 第三步,分析数据模拟的结果:分别在正常蓄水位工况、设计洪水位工况以及校核洪水位工况下,研究重力坝在不同静力荷载条件下的位移及应力分布变化规律,分析重力坝正常运行的安全性。

[0047] 第四步,通过刚体极限平衡法计算阶梯式重力坝的抗滑稳定安全系数。

[0048] 本方案的有益效果为:利用有限元分析软件ABAQUS对该重力坝进行了静力分析,分析了该重力坝在正常蓄水位、设计洪水位以及校核洪水位三种工况下的应力应变情况,通过分析发现该重力坝符合一般重力坝应力分布规律,坝体拉压应力最大值均未超过混凝土的允许拉压应力,对重力坝的安全不会造成危害。且大坝变形较小,坝体最大位移位置均在坝顶处。通过计算坝基面的抗滑稳定系数均满足规范规定的安全数值,验证了坝基的稳定性。由此可知,该重力坝应力分布情况较好,稳定性系数均满足规范规定的安全数值,该台阶式重力坝设计达到要求。

附图说明

[0049] 图1为本发明的侧视剖视图;

[0050] 图2为本发明下层坝体与模板配合的侧视剖视图;

[0051] 图3本发明的工艺流程示意图;

[0052] 图4为扬压力的分布图;

[0053] 图5(a)为阶梯式重力坝在工况1下的横向位移云图;

[0054] 图5(b)为阶梯式重力坝在工况2下的横向位移云图;

[0055] 图5(c)为阶梯式重力坝在工况3下的横向位移云图;

[0056] 图6(a)为阶梯式重力坝在工况1下的竖向位移云图;

[0057] 图6(b)为阶梯式重力坝在工况2下的竖向位移云图;

[0058] 图6(c)为阶梯式重力坝在工况3下的竖向位移云图;

- [0059] 图7(a)为阶梯式重力坝在工况1下的Mises应力云图；
[0060] 图7(b)为阶梯式重力坝在工况2下的Mises应力云图；
[0061] 图7(c)为阶梯式重力坝在工况3下的Mises应力云图；
[0062] 图8(a)为阶梯式重力坝在工况1下的竖向应力云图；
[0063] 图8(b)为阶梯式重力坝在工况2下的竖向应力云图；
[0064] 图8(c)为阶梯式重力坝在工况3下的竖向应力云图。

具体实施方式

[0065] 下面通过具体实施方式进一步详细说明：

[0066] 说明书附图中的附图标记包括：阶梯式坡面1、原斜坡面2、混凝土垫层3、层间施工缝4、防渗面板5、止水片6、上连接部7、止水部8、下连接部9、迎水面模板10、背水面模板11、压槽模板12、连接部13、成型部14、卡槽15、堆石层16、凹槽17。

[0067] 实施例

[0068] 堆石自密实混凝土重力坝采用块石分层堆放，自密实混凝土分层充填的施工方式，在本实施例中，将坝体的左侧定义为迎水面，右侧定义为背水面。

[0069] 如图1所示，堆石自密实混凝土重力坝的背水面采用阶梯式坡面1，且阶梯阳角连接线与原斜坡面2所在线位置一致，即阶梯式坡面1相对于原斜坡面2向坝体内部缩进，阶梯尺寸为 $1.6\text{m} \times 2.0\text{m}$ ，在堆石自密实混凝土重力坝的底部浇筑有混凝土垫层3，每一层上层阶梯与下层阶梯之间均存在有层间施工缝4，堆石自密实混凝土重力坝的迎水面浇筑有防渗面板5，防渗面板5的厚度为50cm，每一层层间施工缝4内均设置有止水片6，止水片6位于防渗面板5内，并靠近背水面的一侧，止水片6包括依次连接的上连接部7、止水部8和下连接部9，止水片6的下连接部9与下一层坝体的防渗面板5一体浇筑，止水片6的上连接部7与上一层坝体的防渗面板5一体浇筑，且与层间施工缝4相互垂直，止水部8呈U型，位于层间施工缝4处，且止水部8的开口方向位于靠近迎水面的一侧。

[0070] 如图3所示，堆石自密实混凝土重力坝快速施工的方法，包括以下：

[0071] S1，基岩面的处理及清洗场地的准备；

[0072] 第一步，基岩面的处理，首先清理基岩面上的松动岩石，清除浮石虚渣，用空压机或高压水枪将细渣清理干净，并将仓内的积水排净，如有地下涌水要制定引排措施和方法，最后，在基岩面上浇筑混凝土垫层3；

[0073] 第二步，清洗场地的准备，在料场内设置一个冲洗场，冲洗场的地面采用20cm厚的C20砼硬化，冲洗场设有蓄水池、沉淀池以及排水沟，借助高压水泵，将河中的水抽至蓄水池，用于石料冲洗，冲洗的废水经排水沟流入沉淀池中，经过沉淀后，可循环用于石料冲洗，多余的水经监测符合排放要求后，排入河中，沉淀池内的泥浆定期进行清理。

[0074] S2，模板的安装；

[0075] 如图2所示，模板包括迎水面模板10、背水面模板11和压槽模板12，迎水面模板10和背水面模板11搭建成坝体的外部轮廓，迎水面模板10通过安装支架进行固定，迎水面模板10的固定属于现有技术，只要能对迎水面模板10进行固定，且能保证迎水面模板10不变形和倾覆即可，这里就不赘述了。背水面采用阶梯式设计，阶梯尺寸为 $1.6\text{m} \times 2.0\text{m}$ ，背水面模板11为单层模板，且单层模板采用可循环使用背架植入锚地钢筋和螺栓进行加固。压槽

模板12通过螺栓安装在迎水面模板的上端,具体的,压槽模板12包括依次连接的连接部13和成型部14,连接部13和成型部14一体成型加工,连接部13的底部开有卡槽15,止水片6的上连接部7卡在卡槽15内,成型部14的宽度为15厘米,成型部14的下端伸入堆石层16内,在本实施例中,模板采用钢模板,钢模板的材质为Q235,厚度为6mm。

[0076] S3,堆石的筛选及入仓;

[0077] 第一步,堆石的筛分及清洗,料场开采出的石块,在使用 1m^3 挖掘机进行装车时,即对石块进行一次筛选,选择粒径范围为30~160cm的石块装车并运至冲洗场地,借助高压水枪,使用蓄水池内的水对石块一道冲洗,然后,将冲洗好的石块运至堆料场堆放;在仓面堆放块石时,使用 1m^3 挖掘机进行装车,此时,即对石块进行第二次筛选,并使用自卸汽车运至仓面。

[0078] 第二步,堆石入仓:在堆石入仓前,待混凝土垫层的强度大于5MPa时,对混凝土垫层的表面进行凿毛处理,再堆砌堆石层16,采用“倒退法”入仓,即由迎水面向背水面布仓,并配备装载机和挖掘机进行平仓,具体的,在距离迎水面模板10内部50厘米以外的空间内,借助挖掘机,将堆石转运入仓,并进行堆砌,在堆石施工中,不同直径的块石相互搭配使用,堆石层16外露面所含有的粒径小于20cm的石块数量小于10块/ m^2 ,且不得集中。

[0079] S4,自密实混凝土生产及运输;

[0080] 第一步,自密实混凝土采用现场拌和,配合比是自密实混凝土拌和的依据,因此,需要对进场的原材料进行全面检测,主要包括粗细骨料含水率和含泥量的检测,待检测结果出来后,根据现场原材料检测结果确定自密实混凝土理论配合比,并在施工现场进行试拌验证,通过验证后,按照施工现场生产系统的实际情况进行调整,根据最优施工配合比进行自密实混凝土拌制;

[0081] 第二步,自密实混凝土采用双卧轴强制式拌和机拌制,自密实混凝土拌和时要按照顺序上料,首先将称量好的骨料和胶凝材料分别投入拌和机进行干拌,再加入水和外加剂继续搅拌60s,水胶比变化范围控制在-0.02~0.01内,拌制完成后,并对混凝土的流动度和扩散度进行测试。

[0082] 第三步,自密实混凝土采用混凝土搅拌车运输,在装料前,要清洗搅拌车内残留的其他品种混凝土,并将车内的积水排尽;在运输过程中,严禁向车内混凝土加水,混凝土运输时间正常控制在30min内卸料完毕,最长时间不能超过60min;在卸料前,混凝土搅拌车要高速旋转1min以上;对自密实混凝土扩展度进行调整时,加入外加剂后混凝土运输罐车要高速旋转3min,以保证自密实混凝土均匀一致,并经检测合格后方可卸料。

[0083] S5,自密实混凝土的浇筑,采用泵送的方式浇筑自密实混凝土,在浇筑自密实混凝土前,需要先浇筑 $1-3\text{m}^3$ 的自密砂浆,再浇筑自密实混凝土,自密实混凝土浇筑点均匀布置,相邻浇筑点间距小于3m,在浇筑过程中遵循单向逐点浇筑的原则,从迎水面的一端开始浇筑,平行于坝轴线浇筑至另一端,进行“S”形路线浇筑,每个浇筑点浇满后方可移动至下一浇筑点浇筑,浇筑点不重复使用,浇筑时的最大自由落下高度小于2m,采用圆筒布料机浇筑代替原泵管直接浇筑,这样操作不仅减少了泵管拆装作业人员的投入,同时,缩短了混凝土自流的距离,降低了混凝土离析风险,并缩短了四分之一浇筑时间。

[0084] 第一步,防渗面板5的浇筑:将自密实混凝土浇筑在迎水面模板10和堆石层16之间的空间内,形成防渗面板5,止水片6浇筑在上一层坝体的防渗面板5与下层坝体的防渗面板

5之间,且与层间施工缝4相互垂直;

[0085] 第二步,堆石层16自密实混凝土的浇筑;将自密实混凝土浇筑在防渗面板5与背水面模板11之间的空间内,且堆石层16的自密实混凝土面低于堆石面5~15cm,不超过石块高度的1/3,压槽模板12能在靠近防渗面板5的一侧形成一个宽15厘米,深10厘米的凹槽17;对凹槽17内自密实混凝土面、防渗面板5以及堆石层16的自密实混凝土面进行冲毛处理,使得粗骨料露出,当自密实混凝土的强度达到2.5MPa以上时,再对下一层坝体进行浇筑。

[0086] S6,自密实堆石混凝土的养护;

[0087] 自密实混凝土在浇筑完毕后,根据气温变化进行养护,气温在20-35℃以上时,在混凝土浇筑完毕6-8h内开始覆盖洒水养护;气温在5-20℃以上时,在混凝土浇筑完毕12-24小时内覆盖洒水养护;气温较低时采取覆盖保温的方式进行养护,养护时间至少为7天,有特殊要求的部位宜适当延长养护时间。

[0088] S7,通过数值模拟法和刚体极限平衡法对阶梯式重力坝体的安全性能进行校核;

[0089] 第一步,采用ABAQUS软件建立数值模拟有限元模型;

[0090] 第二步,采用ABAQUS软件自动创建一个初始分析步:确定施加边界的条件,并创建荷载分析步,根据《混凝土重力坝设计规范》确定用于施加的荷载;

[0091] 第三步,分析数据模拟的结果:分别在正常蓄水位工况、设计洪水位工况以及校核洪水位工况下,研究重力坝在不同静力荷载条件下的位移及应力分布变化规律,分析重力坝正常运行的安全性。

[0092] 第四步,通过刚体极限平衡法计算阶梯式重力坝的抗滑稳定安全系数;

[0093] 工程实例分析及验证

[0094] 选取一处位于贵州省境内的典型重力坝,该重力坝为C15堆石自密实混凝土重力坝,该重力坝的背水面为阶梯式,且阶梯阳角连接线与原斜坡面2所在线位置一致,即阶梯相对于原斜坡面2向坝体内部缩进,阶梯尺寸为1.6m×2.0m,坝高48.5m,坝顶宽度5m,坝底宽度39.8m,水库正常蓄水位1475.00m,相应库容138万m³,死水位1454.00m,死库容14.6万m³,设计洪水位1476.50m,校核洪水位1476.90m,相应总库容为158万m³,兴利库容123.4万m³。

[0095] 通过数值模拟法和刚体极限平衡法对该重力坝体的安全性能进行校核:具体包括以下步骤:

[0096] 第一步,采用ABAQUS软件建立数值模拟有限元模型,在ABAQUS软件的部件中建立相同尺寸的模型;材料模型选用弹性模型;参数选用C15混凝土的具体参数;对重力坝数值模型进行网格划分,单元类型选用CPE4,单元形状采用四边形单元,共生成3024个单元。

[0097] 第二步,采用ABAQUS软件自动创建一个初始分析步:确定施加边界的条件,数值模型的上侧和左右侧为自由边界,对数值模型的底部施加固定约束;创建荷载分析步,根据《混凝土重力坝设计规范》确定用于施加的荷载,施加的载荷包括自重荷载、上下游静水压力、扬压力和淤沙压力;

[0098] (1)自重荷载的确定:仅考虑坝体自重,按一次建成施加,坝体采用C15混凝土容重取2400kg/m³,进行有限元分析计算时采用无质量基岩;

[0099] (2)静水压力的确定:静水压力垂直作用在上下游坝体表面,静水压力荷载根据不同水位条件进行计算,静水下荷载的施加,以相应计算水位与大气接触的自由面压力为0开

始,沿上下游坝面垂直方向施加荷载梯度大小为 9800N/m^3 ;

[0100] (3)淤沙压力的确定:淤沙压力的计算公式为:

$$[0101] \quad p_{sk} = \frac{1}{2} \gamma_{sb} h_s^2 \tan^2(45^\circ - \frac{\phi_s}{2}) \quad (1)$$

[0102] 式中: p_{sk} —淤沙压力标准值(KN/m); γ_{sb} —泥沙的浮容量,取 6KN/m ; h_s —泥沙淤积深度中,取 1450.45m ; ϕ_s —淤沙内摩擦角,取 12° ; $\tan$ —正切函数。

[0103] (4)扬压力的确定:扬压力由渗流压力和浮托力两部分组成。由于本设计中考虑设计排水孔及防渗帷幕灌浆,根据规范,在计算中对大坝的扬压力进行一定的折减,扬压力的分布图如图4所示;

[0104] 第三步,分析数据模拟的结果:在以下三种工况下,研究重力坝在不同静力荷载条件下的位移及应力分布变化规律,分析重力坝正常运行的安全性,三种工况下的具体参数见表1,图5为阶梯式重力坝在三种不同工况下的横向位移云图,图6为阶梯式重力坝在三种不同工况下的竖向位移云图,图7为阶梯式重力坝在三种不同工况下的应力云图,图8为阶梯式重力坝在三种不同工况下的竖向应力云图;

[0105] 表1

工况	上游水位 (m)	下游水位 (m)
工况1:正常蓄水位工况	1475.00	1440.00
工况2:设计洪水位工况	1476.50	1440.60
工况3:校核洪水位工况	1476.90	1440.91

[0107] 第四步,通过刚体极限平衡法计算阶梯式重力坝的抗滑稳定安全系数:抗滑稳定安全系数的计算公式为:

$$[0108] \quad K' = \frac{f(\sum W - U) + c'A}{\sum P} \quad (2)$$

[0109] 式中, K' —抗滑稳定安全系数; f —坝体与坝基接触面上的抗剪摩擦系数,取 $f=0.6$; $\sum W$ —作用于坝体上的全部荷载对计算滑动面的法向分量,取 $\sum W=8.453\text{e}7\text{N}$; $\sum P$ —作用于坝体上的全部荷载对计算滑动面的切向分量,取 $\sum P=3.702\text{e}7\text{N}$; A —坝体与基岩接触面的截面积 m^2 ,取 $A=39.8\text{m}^2$; U —扬压力的大小,取 $U=132.6\text{N}$; c' —混凝土与岩基接触面的抗剪断粘聚力MPa,取 $c'=0.8\text{MPa}$ 。

[0110] 结论分析:

[0111] 从图5中可以看出,位移云图中坝顶位置的横向位移值最大,工况1下横向位移值最大为 1.3mm ,工况2下横向位移值最大为 1.51mm ,工况3下横向位移值最大为 1.56mm ;由此可知。随着水位深度的增加,坝体发生的横向位移也逐渐增大,可见不同水位对坝体的横向变形具有显著的影响;从图6中可以看出,不同工况下阶梯式重力坝竖向位移值基本小于 0.5mm 。工况1下竖向位移值最大为 0.42mm ,工况2下竖向位移值最大为 0.49mm ,工况3下竖向位移值最大为 0.51mm ,由此可知,不同工况下阶梯式重力坝竖向位移值不大,不会对坝体造成大程度的变形,位移分布合理。此外,对比竖向位移变形和水平向位移变形可知,坝体的水平位移变形有明显的水平层状分布,越靠近坝体顶部,其位移变形也就越大,越靠近坝底,发生的变形越小。

[0112] 从图7和图8可以看出,通过数值模拟结果发现在自重荷载下,坝体大部分处于受压应力状态,在上游坝踵位置出现应力集中,在坝踵处产生压应力,坝体受到最大压应力值为1.43MPa,而混凝土的抗压容许值15Mpa,基岩允许压应力30Mpa,因此,坝体受到最大压应力值小于混凝土的抗压容许值和基岩允许压应力。在工况1下,随着上游静水压力、泥沙压力和坝底扬压力荷载的施加,坝体继续以压应力为主,在上游坝踵位置出现小范围压应力集中,这符合坝体在工况1的变形特征。在工况3下,随着上游静水压力继续增加,由应力云图可以看到坝体在坝踵出现拉应力,竖向应力由工况3下0.79MPa继续增大到0.9MPa,远小于混凝土的抗拉容许值1.2MPa。综上所述,坝体应力满足混凝土抗拉压强度规范容许值。

[0113] 通过使用公式(2)对阶梯式重力坝的抗滑稳定安全系数进行计算。通过计算,台阶式重力坝抗滑稳定安全系数K'值为3.52,根据设计规范要求,重力坝抗滑稳定安全系数K,值均满足规范规定的安全数值,故该阶梯式重力坝满足抗滑稳定安全要求。

[0114] 综上所述,通过ABAQUS软件对该重力坝进行了静力分析,分析了阶梯式重力坝在三种工况下的应力应变情况,根据应力云图可知坝段整体应力分布情况较好,符合一般重力坝应力分布规律,坝体拉压应力最大值均未超过混凝土的允许拉压应力,对重力坝的安全不会造成危害。根据不同工况下的位移云图可知大坝变形较小,坝体最大位移位置均在坝顶处。通过计算坝基面的抗滑稳定系数均满足规范规定的安全数值,验证了坝基的稳定性。

[0115] 由此可知,该阶梯式(阶梯尺寸:1.6m×2.0m)重力坝应力分布情况较好,稳定性系数均满足规范规定的安全数值,该台阶式重力坝设计达到要求。并且将重力坝的阶梯面设计成阶梯式坡面1,具有以下优势:1.减小了坝体的尺寸:与斜坡式坡面相比,阶梯式坡面1可以通过增加阶梯数量来缩小整个坝体的尺寸。既可以节约施工成本,减少土石方开挖量,也可以减轻坝体自重;2.便于施工:与斜坡式坡面相比,阶梯式坡面1方便坝面平整和施工,可以更加容易地实现平整,便于施工和维护;3.节约成本:在对背水面模板11进行安装时,无需母模支撑,节约了母模的投入,也不需要使用塔吊对模板进行吊装,也不需要内拉加固钢筋对背水面模板11进行加固,减少了钢筋的使用,堆石率的提高,减少了混凝土的用量,减少反斜角施工混凝土外观质量修补费用,节约成本;4.缩短了工期:本技术方案是以现浇阶梯面为基准面对背水面模板11进行安装,降低了作业面的高度,增大了作业面,无反斜角施工,无模板内拉钢筋影响,堆石效率高,提高了施工效率,缩短了施工周期。

[0116] 以上所述的仅是本发明的实施例,方案中公知的具体技术方案和/或特性等常识在此未作过多描述。应当指出,对于本领域的技术人员来说,在不脱离本发明技术方案的前提下,还可以作出若干变形和改进,这些也应该视为本发明的保护范围,这些都不会影响本发明实施的效果和专利的实用性。本申请要求的保护范围应当以其权利要求的内容为准,说明书中的具体实施方式等记载可以用于解释权利要求的内容。

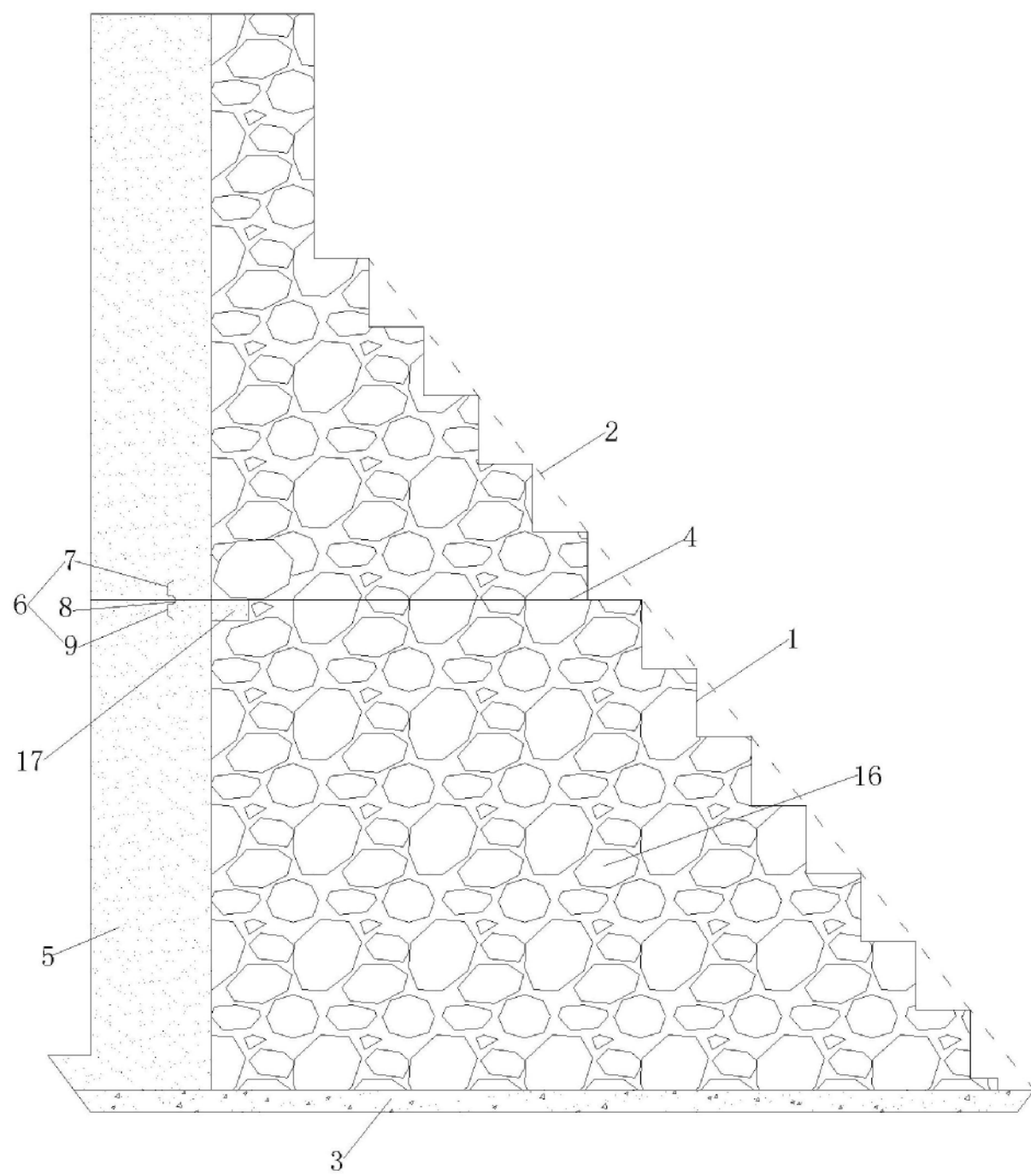


图1

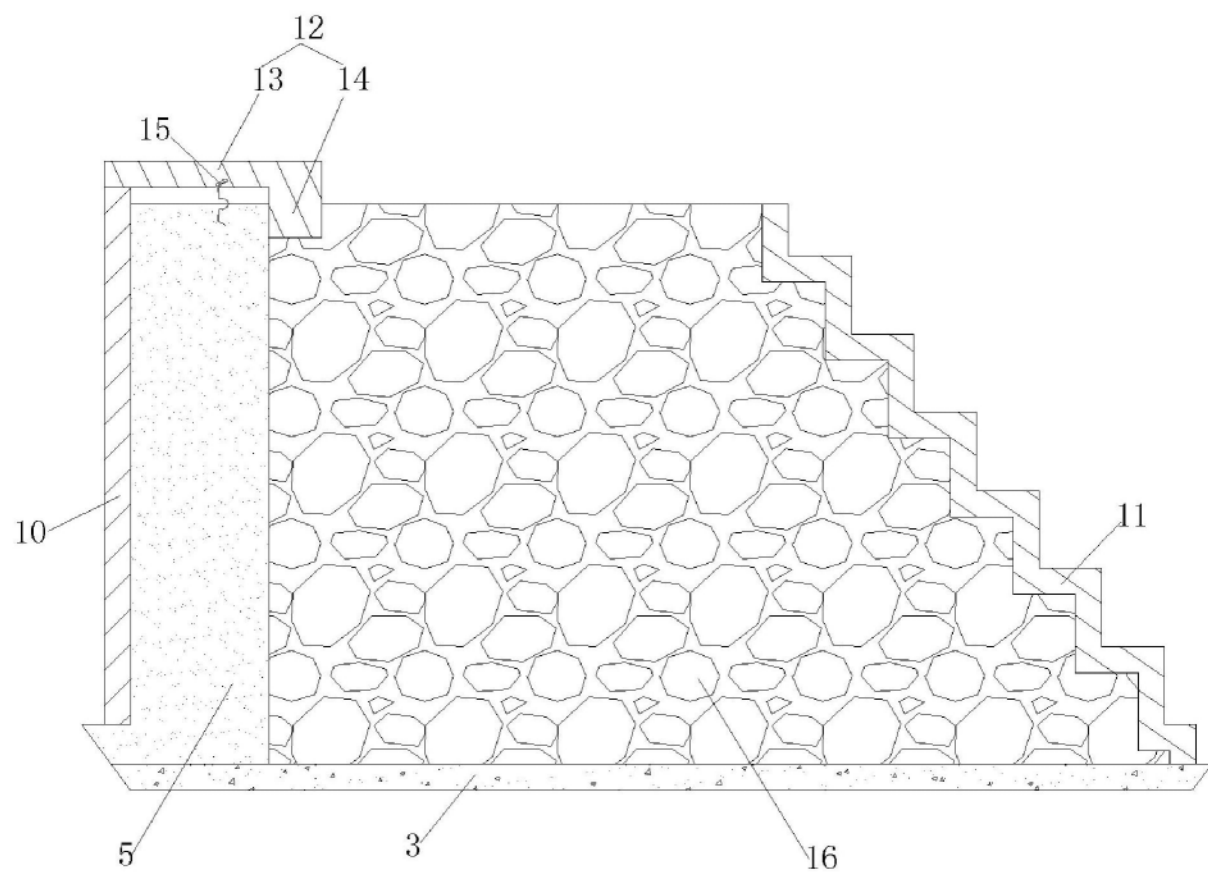


图2

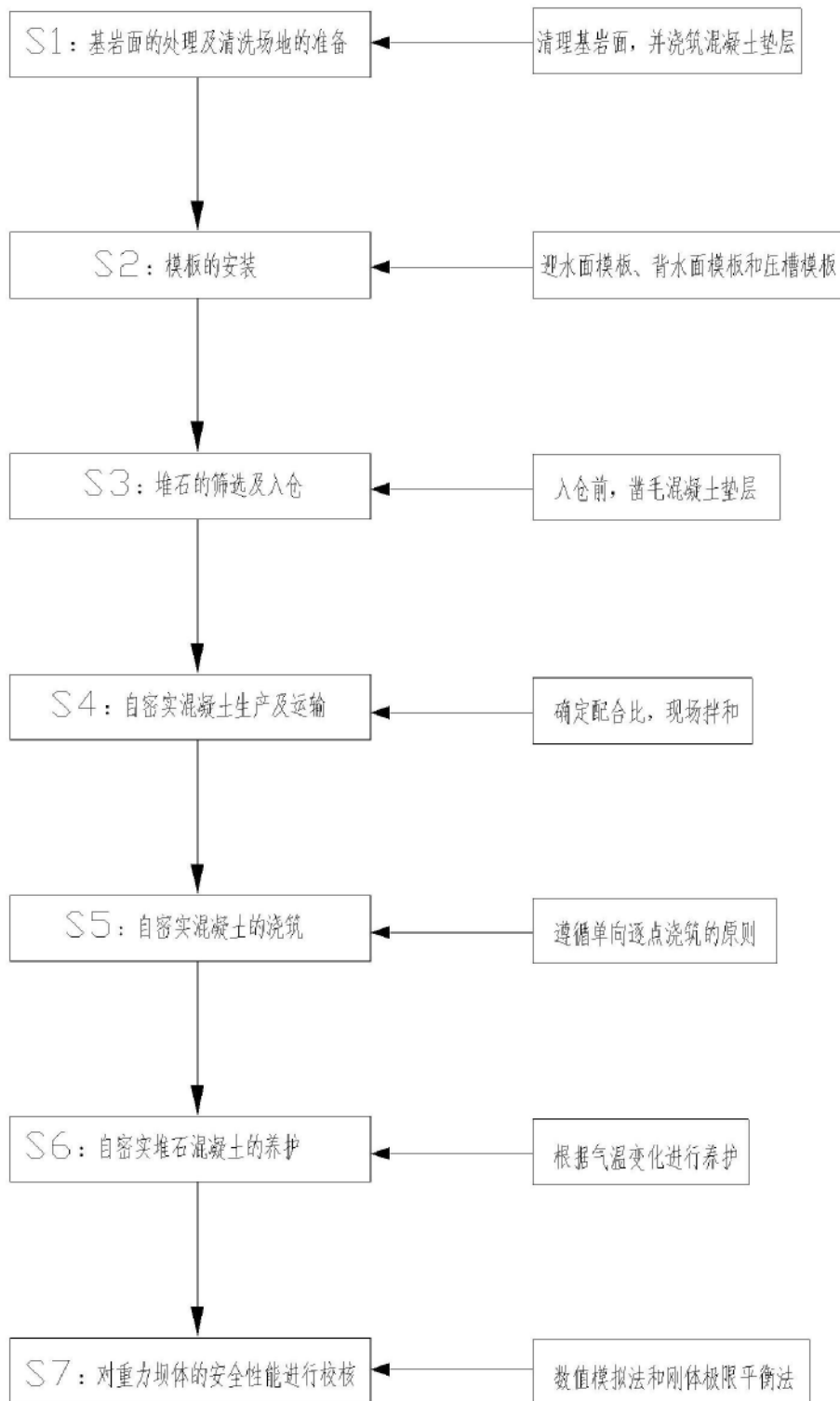


图3

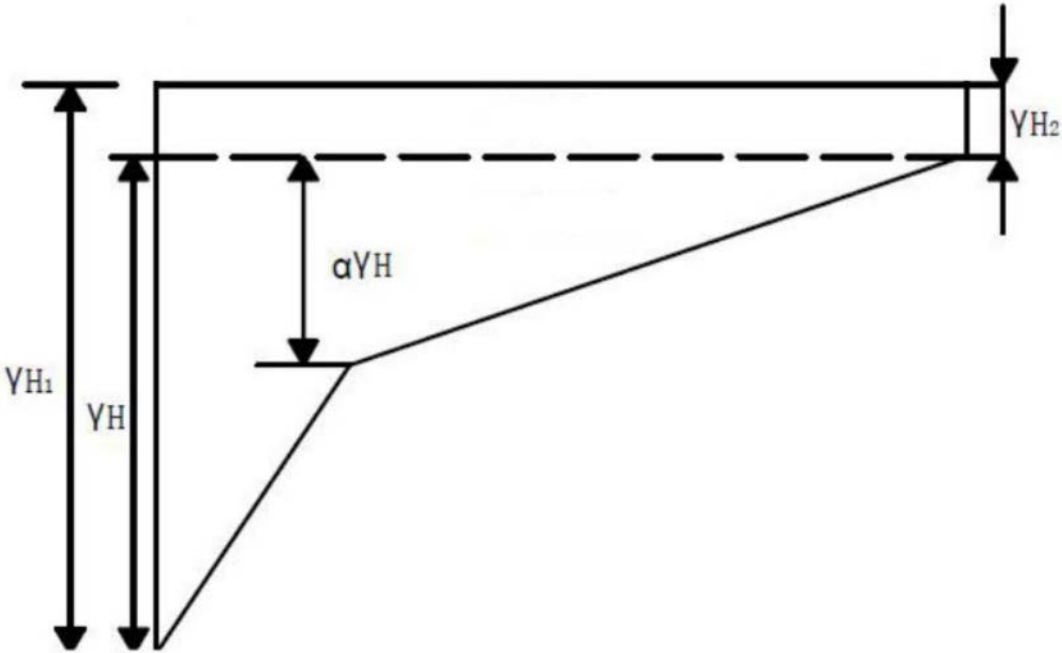
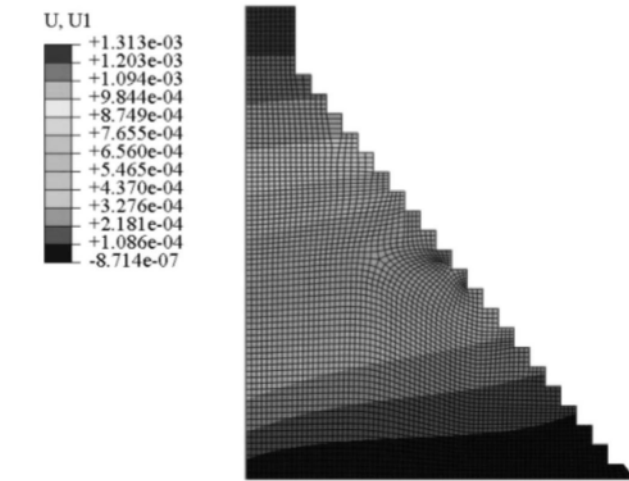
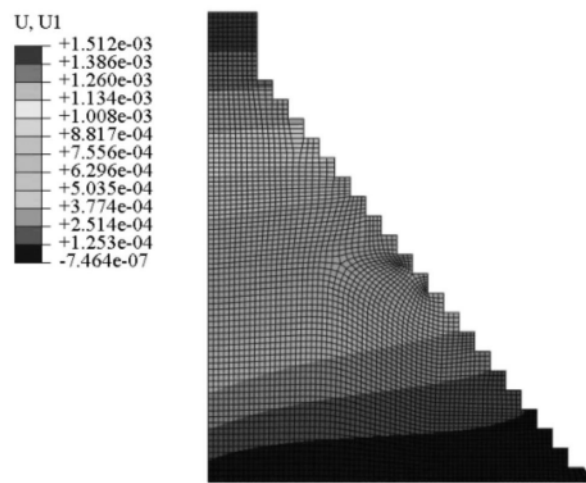


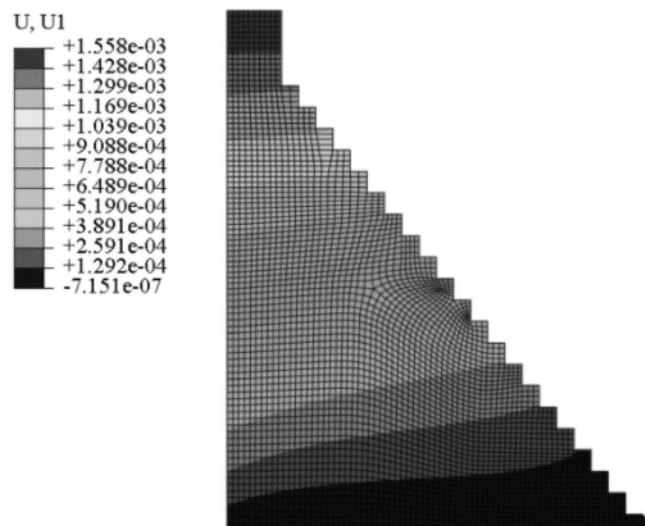
图4



(a)



(b)



(c)

图5

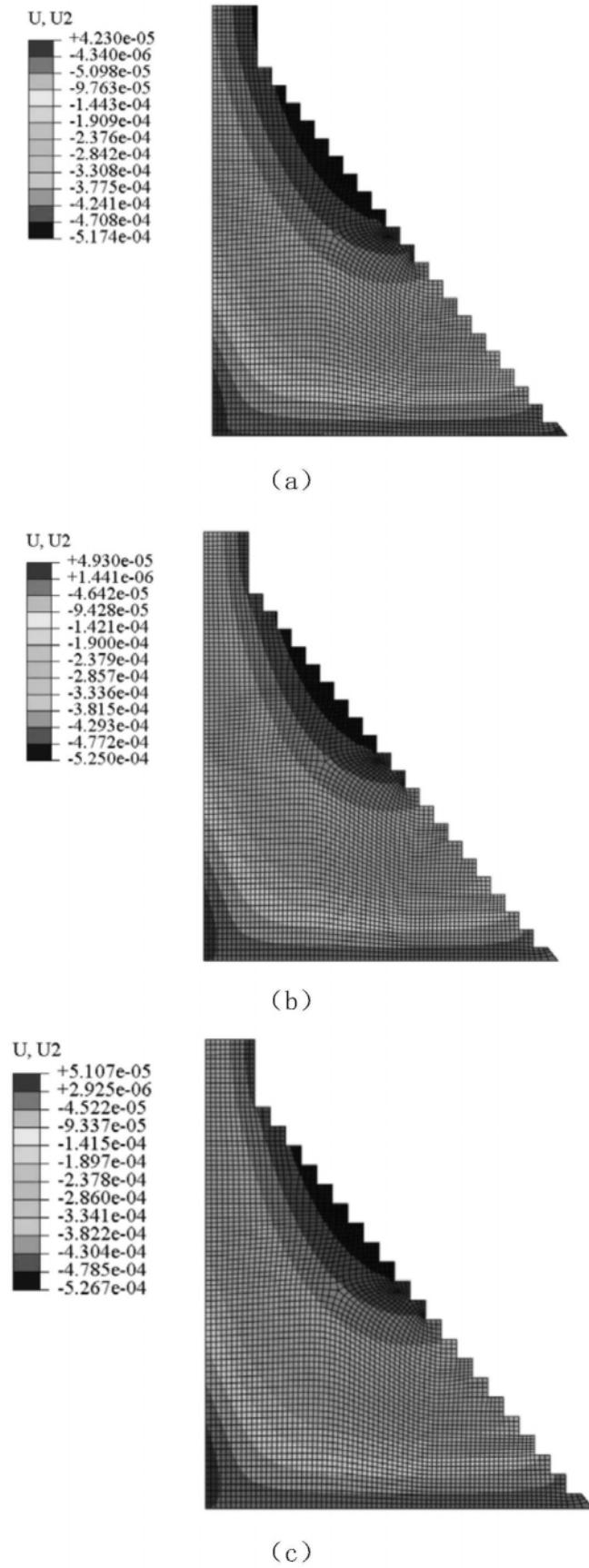
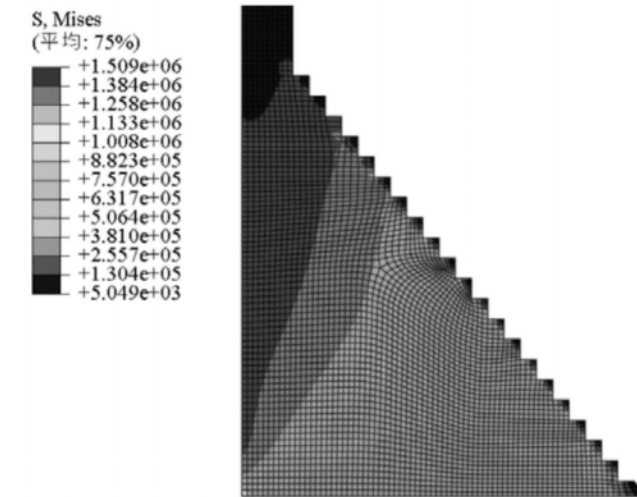
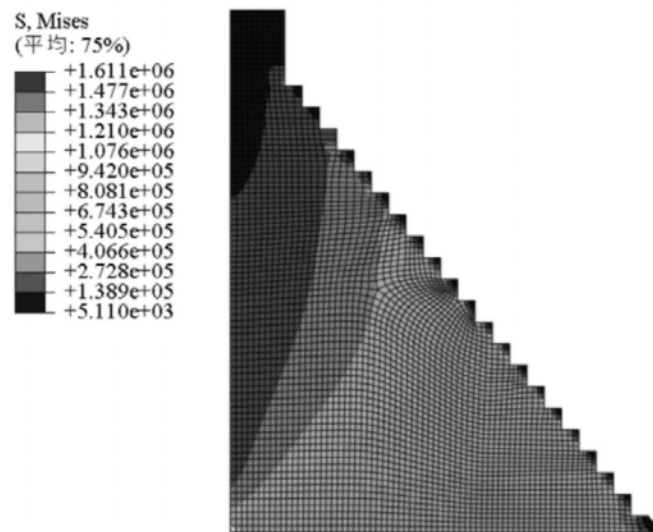


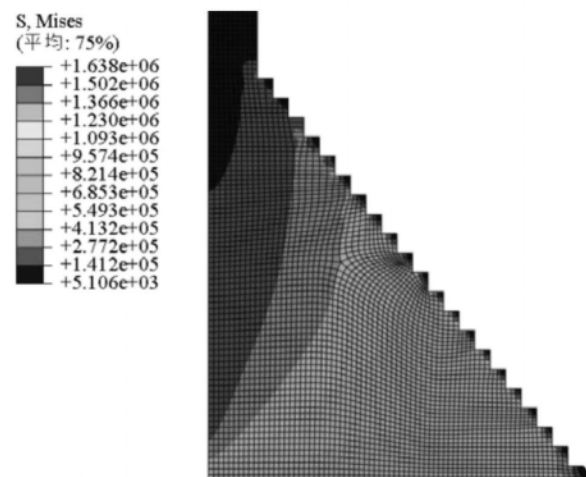
图6



(a)

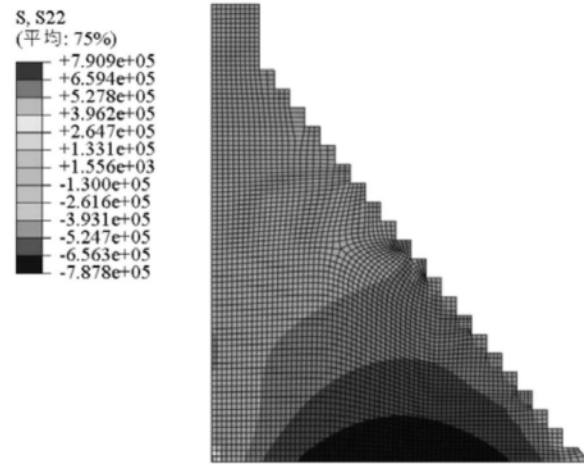


(b)

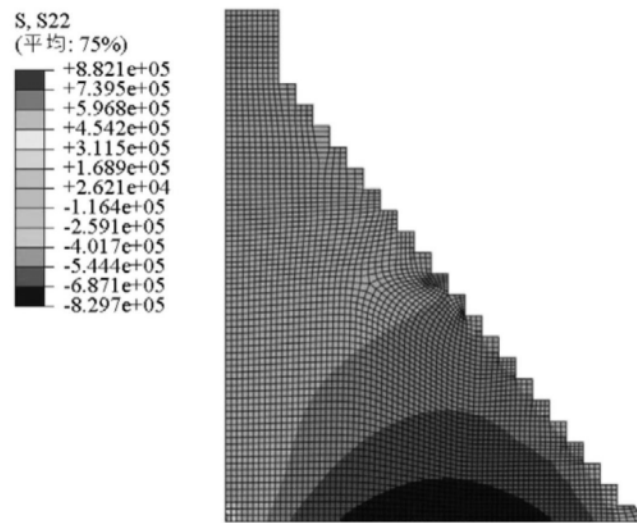


(c)

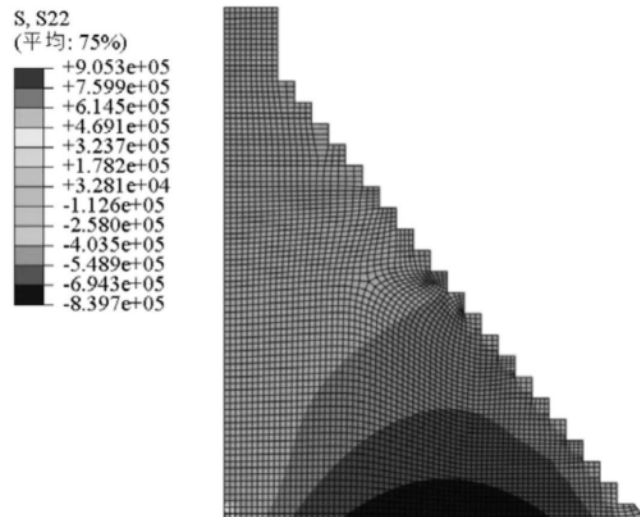
图7



(a)



(b)



(c)

图8