深厚覆盖层上高面板坝建基条件及防渗设计综述

李国英1,苗 喆2,米占宽1

(1. 南京水利科学研究院 水利部土石坝破坏机理与防控技术重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 中国水电 顾问集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065)

摘要:覆盖层上修建混凝土面板堆石坝具有简化施工导流、缩短工期和节省投资等优点,但这类工程大坝防渗 系统复杂,防渗系统的应力和变形控制是工程的关键。随着工程经验的积累和技术的发展,我国相继建成了那 兰、察汗乌苏、九甸峡、苗家坝、老渡口等多个百米级趾板位于覆盖层上的高面板堆石坝,并有多座百米级深厚 覆盖层上高面板坝处于在建和待建状态。覆盖层上高面板坝防渗系统应力变形特性与覆盖层的力学特性及防 渗系统的设计关系密切,结合已建和在建的工程资料和研究成果,对覆盖层上高面板坝的建基条件和防渗系统 设计进行总结,以期为类似工程设计提供借鉴,并为这一坝型的进一步发展提供技术支撑。总结分析结果表 明,如果河床覆盖层变形模量达到40 MPa 以上,覆盖层上百米级至150 m 级面板坝防渗系统的强度和变形能够 满足要求。

关 键 词:覆盖层;承载力;面板堆石坝;防渗设计 中图分类号:TV223 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-640X(2014)04-0001-06

水利水电工程建设中,坝址河床存在深厚覆盖层的情况下,在覆盖层上直接建坝无疑对节省工程投资和 缩短工期非常有利,但前提是覆盖层具有良好的力学性能,大坝防渗系统能够适应强度和变形的要求。自 20世纪30年代起,国外就开始在覆盖层上修建混凝土面板堆石坝(见表1),已建最高的是智利106 m的 Santa Junan坝^[1]。相对而言,我国覆盖层上面板堆石坝建设起步晚,但发展速度快。1982年我国修建了第 一座覆盖层上的面板坝——柯柯亚混凝土面板砂砾石坝;20世纪90年代后,我国陆续修建了一批趾板建于 深覆盖层上并采用垂直防渗墙防渗的混凝土面板堆石坝工程,但其坝高大都在50 m 左右。随着工程经验的 积累和技术研究的发展,21世纪以来我国相继建成了那兰、察汗乌苏、九甸峡、苗家坝、老渡口等多座百米级 趾板位于覆盖层上的高面板坝,并有多个工程处于在建或待建状态。

	表1	国外典型覆盖层上混凝土面板堆石坝工程
Tab. 1	Forei	gn representative CFRD built on deep alluvium deposit

Table Totolgi Toposonianto el les sunt on doop anarran deposit						
坝名	建成年份	国 家	坝高/ m	覆盖层厚度/ m	覆盖层特性	防渗设计
BouHanifia	1939	阿尔及利亚	54	72	细砂层	4 m 厚防渗墙
凯姆波莫洛	1959	意大利	34.5	34.5	砂砾石	2 m 厚塑性混凝土防渗墙
Santa Junan	1995	智利	106	30	砂砾石	0.8 m 厚防渗墙,混凝土强度 10 MPa,上部 6 m为钢筋混凝土,强度 20 MPa
Puclaro	1999	智利	83	113	砂砾石	0.8 m 厚防渗墙深 60 m(悬挂),混凝土强度 10 MPa,上部6 m 为钢筋混凝土,强度 20 MPa

深厚覆盖层上面板坝安全主要体现在坝体与坝基防渗系统的可靠性。防渗系统的应力变形特性除与覆 盖层厚度、坝高等因素有关外,与覆盖层本身的力学特性及防渗系统的设计也密切相关^[2-3]。掌握覆盖层的

收稿日期: 2013-12-20

基金项目:国家重点实验室"水文水资源与水利工程科学"基金资助项目

作者简介:李国英(1962-),男,江苏溧阳人,教授级高级工程师,主要从事土石坝数值模拟。E-mail: gyli@nhri.cn

工程特性是对覆盖层地基上建坝方案研究的前提,除室内大型三轴试验外,物探技术^[4]、现场载荷试验^[5]、 原位大型旁压试验^[6]等方法也在覆盖层力学参数研究中得到应用。对于已建工程,结合大坝变形监测资料 进行反馈分析也是研究覆盖层模型参数的一种途径^[7]。防渗系统满足强度与变形的要求是覆盖层上面板 坝安全的关键,覆盖层上面板坝发展过程中,优化防渗系统的设计以改善其应力变形特性的研究开展得比较 多,其中大都着眼于趾板、连接板长度的优化或者防渗墙刚度的选择^[8-9],另有一些学者则从防渗墙的结构 型式着手,研究了圆弧形防渗墙改善墙体应力变形的效果^[10]。

尽管目前我国已建的覆盖层上百米级面板坝均处于良好的运行状态,并有斜卡、金川等数个百米级高面 板坝工程经过技术论证处于在建或待建状态,但对于坝高达150m级覆盖层上面板坝建设的可行性仍有所 疑虑。本文基于深厚覆盖层上已建、在建和待建百米级高面板坝设计研究成果,总结了大坝的建基条件和防 渗系统的设计方法,分析了深覆盖层上建150m级面板坝的可行性。

1 覆盖层工程特性

对于趾板坐落在覆盖层上的面板堆石坝,如果河床砂砾石覆盖层没有较高的干密度和变形模量,在坝体 荷载和水荷载的作用下,坝体及防渗系统将产生较大的变形。因此,覆盖层良好的工程特性是面板坝建基的 必要条件。那兰、察汗乌苏、九甸峡、苗家坝等已建的100 m 级深覆盖层上的面板坝工程,覆盖层都以砂砾料 为主,地基有较高的承载力。

1.1 那兰水电站面板坝

那兰水电站混凝土面板堆石坝坝高 109 m,河床趾板及坝体基础覆盖层最大深度 24.3 m。覆盖层主要为卵砾石夹中细砂,无连续和稍厚的夹泥。天然干密度约为 2.15 g/cm³,混合密度为 2.73 g/cm³,覆盖层渗透系数约为 1.4×10⁻² cm/s。覆盖层的允许承载力 0.5 ~ 0.6 MPa,变形模量 33 ~ 45 MPa,内摩擦角 39°。坝基清除表层 1 ~ 2 m 杂物及分布较集中的粉细砂层后,经表面碾压,作为面板堆石坝的坝基。

那兰水电站于 2005 年 12 月 1 日起开始蓄水,至 2006 年 7 月 3 日起,水库蓄水至正常蓄水位 425.00 m 高程。监测资料表明,坝体最大沉降 16.5 cm,即使考虑漏测因素,坝体变形也不会太大。面板挠度实测值 为16 cm,面板与垫层之间不存在脱空现象,防渗墙由蓄水引起的下游向变形增量为 6.5 cm,各条接缝变位 均在允许范围内。由于覆盖层厚度相对不大,且其变形模量较高,所以坝体及防渗系统变形均较小,工程运 行性状良好。

1.2 察汗乌苏面板坝

察汗乌苏混凝土面板砂砾石坝坝高 110 m,趾板基础覆盖层最大厚度 46.7 m。覆盖层划分为上部、中部、下部 3 个大层两个岩组,其中上部、下部为含漂砂卵砾石层(I岩组),中部为含砾中粗砂层(II岩组)。上部漂石砂卵砾石层(I岩组)平均厚度 19.24 m,以漂石砂卵砾石为主,局部有大孤石,偶夹厚度不等的含砾中粗砂层(II岩组)透镜体。漂石砂卵砾石层具有较高的密度及较低的孔隙比,呈中密~密实状态。天然干密度平均 2.14 g/cm³,相对密度平均 0.85,允许承载力 0.5~0.6 MPa,变形模量 45~55 MPa,渗透系数 6.68×10⁻² cm/s,属强透水;中部含砾中粗砂层(II岩组)平均厚度 5.9 m,以中粗砂为主,结构紧密,属中等密 实~密实状态。天然干密度平均 1.86 g/cm³,天然状态孔隙比平均 0.44,相对密度平均 0.92,允许承载力 0.30~0.35 MPa,变形模量 30~35 MPa,渗透系数 4.27×10⁻² cm/s,属强透水;下部漂石砂卵砾石层(I岩组)平均厚度 11.18 m,以漂石砂卵砾石层为主,结构紧密,属中等密实~密实状态,物理性状与上部砂卵砾石层相近。河床趾板和堆石体基础在表部清除 1~2 m 杂物后即作为基础,趾板及坝体直接坐落在 I 岩组含 漂砂卵砾石层上,II 岩组含砾中粗砂层未作处理。

察汗乌苏水电站从 2007 年 10 月 31 日开始下闸蓄水,到 2009 年 6 月 18 日,库水位接近正常蓄水位 1 649.00 m高程。监测资料表明,蓄水前坝体最大沉降值为 50.0 cm,覆盖层顶面沉降量为 34.7 cm。蓄水 后截止 2009 年 10 月,库水位高程 1 645 m 时,坝体最大沉降值为 53.8 cm,覆盖层顶面沉降量为 37.6 cm。 面板与垫层之间保持压紧状态,没有脱空现象,各条接缝变位均在允许范围内,大坝运行正常。察汗乌苏面 板坝坝基覆盖层厚度达到46.7 m,且其中部夹有5.9 m 厚含砾中粗砂层,但覆盖层加权变形模量达到43~52 MPa,坝体及覆盖层变形总体不大,蓄水期坝体沉降率(最大沉降比坝高与覆盖层厚度之和)为0.34%,覆盖层压缩率0.81%。

1.3 九甸峡面板坝

九甸峡混凝土面板坝坝高 136 m,河床底部为一深槽,覆盖层厚 40~50 m,宽 30~50 m。河床覆盖层按 其组成物特性大致可以分为 3 层:崩坡积块碎石土层(I岩组)、冲积块石砂卵砾石层(II岩组)和冲积砂卵 砾石层(II岩组)。崩坡积块碎石土层(I岩组)厚度 6~17 m,分布在左岸坡角和河床上部,组成物为块石、 碎石,成分为灰岩,结构松散无胶结,不宜作为混凝土面板堆石坝基础,全部挖除;冲积块石砂卵砾石层(II 岩组)厚度 5~13 m,分布于河床中部。该层上部以块碎石为主,向下卵砾石增多,并有中粗砂分布。块碎石 成分均为灰岩,卵砾石成分有砂岩、灰岩、石英岩等,磨圆度较差,整层结构松散,无胶结,干密度 1.95~ 2.05 g/cm³,允许承载力 0.3~0.4 MPa,变形模量 30~40 MPa,渗透系数 9.26×10⁻²~1.74×10⁻¹ cm/s,中密 状态;冲积砂卵砾石层(II岩组)厚度 12~37 m,分布于河床底部,主要为卵石和砾石,成分为砂岩、灰岩、石 英岩等,磨圆度较好,局部有粒径 2~3 m的孤块石分布,干密度 2.05~2.12 g/cm³。允许承载力 0.5~ 0.6 MPa,变形模量 40~60 MPa,渗透系数 3.47×10⁻²~9.26×10⁻² cm/s,其天然干密度、承载力均大于上层, 属密实~中密状态。

水库于 2008 年 6 月下闸蓄水,2009 年 11 月 6 日至 9 日,水库水位蓄至 2 201.00 m 高程,2010 年 10 月 25 日,首次达到正常蓄水位 2 202.00 m。监测资料显示,大坝最大沉降约为 137 cm。由于坝址河谷形状不 对称,岸坡陡峭,面板周边缝变形较大,实测面板周边缝三向变位为:最大剪切位移为 61.23 mm,最大开合度 为 5 mm,最大沉降为 33.88 mm。坝体运行情况良好。九甸峡面板坝坝高达到 136 m,坝基保留覆盖层厚度 近40 m,实测最大沉降为 137 cm,相应沉降率为 0.78%,在 200 m 级面板坝变形经验范围内,表明覆盖层只 要有合适的变形模量,可以作为高面板坝的坝基。

1.4 苗家坝

苗家坝面板堆石坝坝高110 m,河床覆盖层厚10~48 m,自上而下可分为4层:(1)表部为碧口水库淤积的砂质粉土,厚2~4 m,砂质占30%~40%,其余为粉土。(2)上部为含碎块石的砂卵砾石层,厚8~12 m,以卵石砾石间夹碎石为主,天然密度2.20~2.25 g/cm³,允许承载力0.55~0.60 MPa,变形模量60~65 MPa。(3)中部为砂卵砾石层,厚15~25 m,是河床覆盖层的主体层,卵砾石占75%左右,砂质占25%左右,其中砂层在不同地段和高程呈透镜状不连续分布。天然密度2.20~2.25 g/cm³,允许承载力0.55~0.60 MPa,变形模量60~65 MPa。(4)底部为含碎块石的砂卵砾石层,厚5~10 m,分布不连续,卵砾及块石约占80%,砂质约占15%。天然密度2.15~2.20 g/cm³,允许承载力0.4~0.5 MPa,变形模量50~60 MPa。河床部位趾板和坝体基础在挖除覆盖层表部的淤积砂质粉土层后,填筑堆石体前进行碾压处理。苗家坝水电站已经于2011年10月投入运行,大坝运行性状良好。

1.5 覆盖层上百米级面板坝建基条件总结

除上述已经建成运行的工程外,还有斜卡、多诺、金川等在建和待建的趾板建在深覆盖层上的百米级高 面板坝。表2列出了已建、部分在建和待建的趾板坐落在深覆盖层上的百米级高面板坝信息。

Tab. 2 Engineering information of CFRD with toe slab built on river alluvium deposit							
工程名称	坝高/ m	覆盖层深/ m	持力层	干密度/ (g・cm ⁻³)	承载力/ MPa	变形模量/ MPa	
那兰	109.0	24.3	卵砾石夹中细砂	2.19	$0.50 \sim 0.60$	33 ~45	
察汗乌苏	110.0	46.7	含漂砂卵砾石	2.14	$0.50 \sim 0.60$	45 ~ 55	
九甸峡	136.5	40	冲积砂砾卵石	1.95 ~ 2.12	$0.50 \sim 0.60$	$40 \sim 60$	
苗家坝	110.0	48	块碎石砂卵砾石层	2.15~2.20	$0.55 \sim 0.60$	60 ~ 65	
斜 卡	108.2	100	含漂卵砾石层	2.10~2.20	$0.50 \sim 0.60$	$45 \sim 50$	
多 诺	108.5	30	含漂碎砾石土层	2.17	$0.50 \sim 0.55$	$50 \sim 60$	
金川	112.0	65	含漂砂卵砾石层	2.24	$0.55 \sim 0.60$	40 ~45	

表 2 河床趾板建在覆盖层上的高面板坝工程信息

从表2可见,上述覆盖层持力层干密度一般在2.0~2.2g/cm³,接近或略低于上覆堆石体设计干密度, 承载力为0.45~0.60 MPa,变形模量为40~65 MPa。据此可判定,当覆盖层干密度>2.0g/cm³、承载力≥ 0.45 MPa、变形模量≥40 MPa的情况下,修建趾板坐落在覆盖层上的百米级高面板坝的建坝要求能够满足。

1.6 覆盖层上150 m级面板坝建基要求

已建覆盖层上坝高超过100 m 的工程中,除九甸峡外,坝高大都在110 m 左右。滚哈布奇勒水电站坝址 河床覆盖层厚约50 m,最大坝高160 m,远高于目前已建工程。如果能采用在深覆盖层上直接建坝,将具有 重大的经济效益,但技术可行性也备受关注。

坝址区河床覆盖层主要为现代河流冲积而成的漂石砂卵砾石层。砂卵砾石磨圆度好,分选性差,结构较紧密,属中等密实~密实状态。覆盖层主要物理力学参数为:干密度2.11 g/cm³,相对密度0.8,允许承载力0.50~0.55 MPa,变形模量55~60 MPa。三维有限元计算结果显示:蓄水期坝体最大沉降79.2 cm,面板最大挠度33.5 cm;防渗墙竣工期向上游位移,最大值3.16 cm,蓄水期向下游位移,最大值8.81 cm,由蓄水引起的挠度增量11.97 cm;防渗墙与连接板接缝沉陷最大值30 mm,面板周边缝三向变位最大值为错动28.3 mm、沉陷13.4 mm、张开24.5 mm。坝体变形量适中,接缝变位均在止水结构允许范围内,面板、趾板、连接板和防渗墙等混凝土结构的应力也在允许范围内。

该工程河床覆盖层承载力 0.50~0.55 MPa,变形模量 55~60 MPa。可见上述百米级面板坝的建基条件 推广到 150 m 级面板坝也是可行的。

2 覆盖层防渗体设计

对于趾板坐落在深厚覆盖层上的面板坝,坝基防渗与坝体防渗的有机结合是防渗设计的重点。目前已 建的深厚覆盖层上的面板坝工程,除较早建设的柯柯亚面板坝^[11]以外,河床段防渗系统基本采用坝基垂直 防渗墙、覆盖层上连接板和趾板与坝体上游混凝土面板连接的方式。在那兰、九甸峡水电站覆盖层上面板坝 设计阶段,由于坝高相较当时已建工程都有较大增加,着重研究了河床部位防渗系统的设计,对比分析了防 渗墙与趾板刚性连接与柔性连接方案,从防渗系统的应力变形特性出发,认为柔性连接方案更能适应覆盖层 地基的变形^[12-13]。

经多年工程实践和技术论证,覆盖层上面板坝的 防渗系统已经形成了较为成熟的设计风格,即由坝基 垂直防渗墙、置于覆盖层面的连接板和趾板、坝体上 游混凝土面板以及接缝止水结构形成封闭的防渗系 统,如图1所示。防渗墙与连接板、连接板与趾板、趾 板与混凝土面板之间采用止水结构柔性相连,但不同 的工程因坝高、覆盖层厚度、覆盖层力学参数等差异, 可能采用不同的防渗墙厚度、连接板块数和长度、趾 板长度等,表3给出了部分已建、待建工程防渗系统 设计资料。



表 3 所列资料表明,趾板建于深厚覆盖层上的 100~150 m 级高面板坝防渗设计原则可归纳如下:坝基 防渗墙厚度通常采用 0.8~1.2 m;在覆盖层深度小于 80 m 的情况下,混凝土防渗墙通常嵌入基岩,而当覆 盖层厚度大于 80 m 的情况下,可采用悬挂式防渗墙加墙底灌浆帷幕;趾板宽度大都采用 4~6 m,趾板与防 渗墙之间采用 1~2 块连接板,单块连接板宽度 2~4 m。 Tab 2

Tab. 5 Design of seepage prevention system of high CFRD with the stab burn on invertied and during deposit						
工程名称	坝高/ m	覆盖层深/ m	防渗墙	连接板宽度/ m	趾板宽度/ m	
那兰	109.0	24.3	0.8 m厚C25 垂直防渗墙,入岩0.5 m	3	8	
察汗乌苏	110.0	46.7	1.2 m厚C35 垂直防渗墙,入岩1.0 m	3+3	4	
九甸峡	136.5	54	1.2 m厚C25 垂直防渗墙,入岩0.8 m	4	6	
苗家坝	110.0	48	1.2 m厚C25 垂直防渗墙,入岩0.5 m	3	6	
斜 卡	108.2	100	1.2 m厚C25垂直防渗墙,入强卸荷岩区	4	4	
多 诺	108.5	30	0.8 m厚C25垂直防渗墙,入岩0.5 m	3	5	
金川	112.0	65	1.2 m厚 C25 垂直防渗墙, 人岩 1.0 m	4+4	4	
滚哈布奇勒	160.0	50	1.2 m 厚 C30 垂直防渗墙, 入岩 0.5 m	2+4	4	

表 3 趾板建在覆盖层上高面板坝河床防渗系统设计

november and the composite the state of the second se

3 结 语

在深厚覆盖层地基上直接建造面板坝,可以简化施工导流,缩短工期、节省工程投资,因此,覆盖层上建 面板坝技术近年来得到了较为深入的研究,同时这一坝型也取得了快速的发展。进入 21 世纪以来,我国已 经建成了 4 座趾板坐落在深覆盖层上的 100 m 级以上的面板坝,并成功运行。在建和待建的趾板坐落在深 覆盖层上的 100 m 级以上的面板坝工程有 5 座左右。随着水利水电资源的进一步开发,将有更多的高面板 坝工程面临在深厚覆盖层上建坝的问题,本文结合已建和待建的深厚覆盖层上高面板坝工程资料和设计研 究成果,总结了深厚覆盖层上直接建造 100~150 m 级高混凝土面板堆石坝对覆盖层力学指标的要求以及河 床段坝体防渗系统的设计方法。结果显示:当覆盖层的承载力超过 0.45 MPa、变形模量超过 40 MPa 时,可 作为 100~150 m 级高面板坝的坝基;河床部位防渗系统采用柔性连接方式,变形协调性良好,可推广到覆盖 层上 150 m 级面板坝的防渗设计。

参考文献:

- [1] ANGUITA P, ALVAREZ L, VIDAL L. Two chilean CFRDs designed on riverbed alluviums [C] // Proceedings of International Symposium on High Earth-Rockfill Dams. Beijing, 1993.
- [2] 李国英. 覆盖层上面板坝的应力变形性状及其影响因素[J]. 水利水运科学研究, 1997(4): 348-356. (LI Guo-ying. Stress-strain behavior and its influence factors of CFRD built on riverbed alluviums[J]. Journal of Nanjing Hydraulic Research Institute, 1997(4): 348-356. (in Chinese))
- [3] 李国英, 沈珠江, 吴威. 覆盖层上混凝土面板堆石坝离心模型试验研究[J]. 水利水电技术, 1997(9): 51-54. (LI Guoying, SHEN Zhu-jiang, WU Wei. Centrifuge model test for concrete face rockfill dam constructed on coverburden layer[J].
 Water Resources and Hydropower Engineering, 1997(9): 51-54. (in Chinese))
- [4] 钟诚昌. 深厚覆盖层地区工程物探方法技术探讨[J]. 水力发电, 1996(5): 34-38. (ZHONG Cheng-chang. Research on the method of prospect for deep alluvium deposit[J]. Water Power, 1996(5): 34-38. (in Chinese))
- [5] 熊德全,王昆,马加禹. 其宗水电站深厚覆盖层钻孔旁压试验[J]. 云南水力发电,2009,25(6):16-19. (XIONG Dequan, WANG Kun, MA Jia-yu. In-situ pressuremeter tests on deep alluvium deposit of Qizhong water power station[J]. Yunnan Water Power, 2009, 25(6):16-19. (in Chinese))
- [6] 刘小生, 汪小刚, 马怀发, 等. 旁压试验反演邓肯-张模型参数方法研究[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(5): 601-606.
 (LIU Xiao-sheng, WANG Xiao-gang, MA Huai-fa, et al. A study of back-analysis method of constitutive parameters for Duncan-Chang model based on in-situ pressuremeter tests[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(5): 601-606.
 (in Chinese))
- [7] 赵魁芝,李国英. 梅溪覆盖层上混凝土面板堆石坝流变变形反馈分析及安全性研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(8):
 1230-1235. (ZHAO Kui-zhi, LI Guo-ying. Back analysis of creep deformation and study on safety of Meixi CFRD built on riverbed alluvium[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(8): 1230-1235. (in Chinese))

- [8] 赵魁芝,李国英,米占宽. 汉坪咀混凝土面板堆石坝防渗体系设计方案优选[J]. 水利水运工程学报, 2004(2): 45-50.
 (ZHAO Kui-zhi, LI Guo-ying, MI Zhan-kuan. Design optimization for impervious system of Hanpingzui rockfill dam with concrete facing slab[J]. Hydro-Science and Engineering, 2004(2): 45-50. (in Chinese))
- [9] 马明, 沈振中, 吕生玺. 九甸峡面板堆石坝深覆盖层防渗结构方案优化[J]. 人民黄河, 2008, 30(8): 82-84. (MA Ming, SHEN Zhen-zhong, LV Sheng-xi. Design optimization for impervious structure to deep alluvium deposit of Jiudianxia CFRD[J]. Yellow River, 2008, 30(8): 82-84. (in Chinese))
- [10] 郦能惠,孙大伟,米占宽. 深覆盖层上面板堆石坝的圆弧型防渗墙[J]. 岩土力学, 2006, 27(10): 1653-1657. (LI Neng-hui, SUN Da-wei, MI Zhan-kuan. Arc type diaphragm wall for concrete face rockfill dam built on deep alluvium deposit
 [J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(10): 1653-1657. (in Chinese))
- [11] 冯家骥, 张国安. 柯柯亚面板坝的防渗设计与原型观测[J]. 水力发电, 1989, 15(3): 17-20. (FENG Jia-ji, ZHANG Guo-an. Seepage control design and prototype observation for Kekeya face rockfill dam[J]. Water Power, 1989, 15(3): 17-20. (in Chinese))
- [12] 沈婷,李国英,李云,等. 覆盖层上面板堆石坝趾板与基础连接方式的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(14):
 2588-2592. (SHEN Ting, LI Guo-ying, LI Yun, et al. Numerical analysis of joint types between toe slab and foundation of CFRD in alluvial deposit layer[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 24(14): 2588-2592. (in Chinese))
- [13] 温续余,徐泽平,邵宇,等. 深覆盖层上面板堆石坝的防渗结构形式及其应力变形特性[J]. 水利学报,2007,38(2):
 211-216. (WEN Xu-yu, XU Ze-ping, SHAO Yu, et al. A study of seepage blocking structure in CFRD built on deep alluvium foundation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(2): 211-216. (in Chinese))

A review of foundation condition and design scheme for seepage prevention system of high CFRD built on deep alluvium deposit

LI Guo-ying¹, MIAO Zhe², MI Zhan-kuan¹

 Key Laboratory of Failure Mechanism and Control Technique of Rockfill Dams of MWR, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Northwest Hydro Consulting Engineers, CHECC, Xi' an 710065, China)

Abstract: CFRD built on deep alluvium deposit has the advantages of simplified cofferdam, shortened construction period and less investment. These types of dams are built with complex seepage prevention systems, and the key problem is to control the stress and deformation of the seepage prevention system of the dam. Thanks to accumulating of engineering experience and developing of technique studies, there have been built many CFRDs such as Nalan, Chahanwusu, Jiudianxia, Miaojiaba and so on on deep alluvium deposit, and many dams are going to be built on the same deposit. The behavior of the stress strain of the seepage prevention system is related to the bearing capacity of the alluvium deposit and the design of the seepage prevention system obviously. Based on the engineering information and research results, this paper has summarized the foundation conditions and the seepage prevention system of those concrete faced rockfill dams built or to be built on the deep alluvium deposit. It can be used for reference in designing similar projects, and can provide technique supports for the development of this type of dams. The results show that if the deformation modulus of the alluvium deposit exceeds 40 MPa, the stress and deformation of the seepage prevention system of those CFRD built on the deep alluvium deposit with the height of 100 m to 150 m can be in the permitted range in the future.

Key words: alluvium deposit; bearing capacity; CFRD; seepage prevention system