新材料新技术在土石坝工程中的应用

杨　中，李华伟，孙业文

（中水淮河工程有限责任公司，安徽 蚌埠 233001）

摘　要：临淮岗洪水控制工程主坝为碾压式均质土坝。工程设计施工过程中，坝面护坡在采用开孔垂直联锁混凝土砌块；引进并开发研制了配套设备的电解质式位移监测系统，与传统仪器相比，能绘制坝体垂直位移和水平应变的连续曲线，且观测精度较高，保证了工程施工过程中的坝体安全；在坝基碾压过程中，成功运用粉喷桩解决淤泥质坝基的碾压困难的问题；在坝体排水中，采用塑料盲管排水技术；新材料新技术在临淮岗洪水控制工程主坝工程中的成功应用，为类似工程积累了宝贵的经验。

关键词：新材料新技术；土石坝；应用

作者简介：杨　中（1974－　），男，工程师，主要从事水工结构及岩土力学方面的研究。

0　工程概况

临淮岗洪水控制工程是19项治淮骨干工程之一，也是国家“十五”重点项目。该工程位于淮河干流中游正阳关以上2 km处，工程为Ⅰ等大（1）型工程，设计滞洪库容为85.6亿 m^3，校核滞洪库容121.3亿 m^3[1]。主体工程计划工期5年，2001年12月工程正式开工，计划2006年底完工。其中主坝为1级建筑物，按100年一遇洪水标准设计，1000年一遇洪水标准校核。主坝设计坝型为碾压式均质土坝，平均坝高12～13 m，最大坝高20 m，总长8545 m，净长7019 m，分连接段、姜南段、姜北段、淮河主槽段、淮北段五个坝段，其中加固部分净长3895 m，新建部分净长3124 m。坝顶高程31.60 m，坝顶宽度10.0 m，上设1.2 m防浪墙及水泥混凝土路面三级公路。

1　开孔垂直联锁混凝土砌块护坡技术

临淮岗洪水控制工程主坝工程原设计采用干砌石及现浇混凝土护坡，护砌工程量大、工期短、施工强度大，加上天气原因主坝施工进度较设计工期滞后，且干砌石护坡受石料购置限制，坡施工效率低。根据模型试验研究[2]，决定采用开孔垂直联锁砌块。引进德国混凝土砌块生产线，专门生产新型混凝土开孔垂直联锁砌块，主坝护坡面积约50万 m^2，根据坝体不同部位的风浪要素，按模型试验导出公式、Pilarczyk 公式和 Breteler 公式分别计算护坡厚度，经计算砌块采取155、220、240 mm三种厚度。砌块下面铺设直径20～40 mm的碎石垫层厚150 mm，碎石垫层下铺设400 g/m^2的土工布一层。

大胆开发并采用已获得国家专利的开孔垂直联锁砌块技术，通过定量研究砌块开孔和垂直联锁结构的抗波浪作用效果，并比较不同开孔率、不同咬合方式及咬合深度对砌块稳定性的影响，确定了砌块的开孔率、联锁榫长和块体的厚度。研究证明[3]，特别设计的开孔，有利减小波浪作用产生的浮托力，相同波要素条件下，可减小护砌厚度；垂直联锁设计可实现砌块间的相互咬合，增强整体性，提高抗波浪作用效果；在相同坝坡和波要素条件下，开孔和垂直联锁两种措施较水平联锁砌块可减少30～50%护砌厚度。与实体砌块相比，可节约混凝土砌块3万 m^3 左右，节省工程投资约1000万元左右。

砌块施工时有关具体要求：混凝土预制砌块的强度等级不小于C20，密度不小于2.20 g/cm^3，平面尺寸误差不大于3 mm，厚度误差不大于4 mm，预制块砌筑应平整、稳定、紧密，缝线规则，缝宽不大于5 mm，表面平整度不大于10 mm/2m；护坡顺坡向沿坝轴线方向每50 m设一道浆砌石格埂，遇排水沟及踏步处格埂取消，格埂宽500 mm，深700 mm。

混凝土砌块护坡是一种新型护坡，机械化生产开孔垂直联锁砌块产量大、形状规则、尺寸统一，质量稳定易控制，外观整齐、施工方便、效率高，施工受天气影响小。有利于保证工程质量、缩短工期，减少了施工、监理、管理单位的工作量，极大的缩短了工程工期。而且护坡工程线条平顺规则，缝宽基本一致，砌块连接紧密，工程整体美观，而且混凝土砌块具有一定的柔性，能够适应堤坝的变形。加之砌块应用可避免石料开采对环境的影响，砌块生产过程中可添加粉煤灰、矿渣、钢渣等工业废料，环境效益十分显著。

临淮岗洪水控制工程在世界范围内首次将开孔垂直联锁砌块成功应用于水利工程中，并成功解决了设计、生产、施工、监理、质检等一系列的技术难题，为开孔垂直联锁砌块在水库、湖泊等波要素较大的水利护坡工程中的广阔应用前景积累了经验。

2　电解质式位移监测系统

该工程主坝淮北段位于淮河左岸滩地，坝基下3 m左右有一层厚2～4 m的中粉质壤土夹淤质软土，此软弱下卧层厚度大，分布广，含水率高，强度低。在此软土地基上修建土石坝，施工过程中易出现由于坝体填筑过快而引起的坝体剪切破坏，为避免出现这种情况而拖延工期，开展了主坝施工期变形监测技术研究。根据主坝淮北段的坝高、坝体结构形式、地形、坝基以及工程地质条件，选取2个关键断面，采用引进并开发研制了配套设备的电解质式位移监测系统；另外选取6个断面辅助监测，采用进口的振弦式孔隙水压力计进行坝基渗流监测和坝体孔隙水压力消散监测。应用电解质式位移监测系统可以得到精确的监测数据（精度可达0.01 mm），能绘制出垂直位移和水平应变的连续曲线，较充分准确监测到坝体内部变形情况，与传统的垂直位移和水平应变监测方法相比，具有精度高、稳定性好等特点。

电解质式位移监测系统在主坝淮北段工程的应用，取得了较为显

收稿日期：2006－07－30

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

著的效益。根据主坝淮北段地质土层要求，坝体土方填筑必须采用间歇性施工才能确保坝体施工期安全。采用了电解质式位移监测系统后，坝体内部变形情况能及时得到监测，并根据监测结果科学合理控制施工强度，这样就保证了坝体土方填筑的相对连续性，从而减少了原间歇工期，确保了工程于2004年汛前完成了坝体土方填筑，据估算至少比未采用电解质式位移监测系统缩短工期5～8个月。

电解质式位移监测系统在主坝淮北段工程的应用，不仅为工程施工安全提供了技术保障，取得了显著的技术经济效益，而且大大推动了大坝安全监测技术发展。它的电解液式传感器原理打破了垄断国内监测行业多年的弦式仪器生产工艺，它所包含的“一条连续的变形曲线”一改国内传统的“点”式监测内部位移的技术手段，它的“高精度”和“自动采集”优势符合水利工程现代化的要求，对在软土地基上修建土石坝如何确保施工安全进行了有益探索，为安全监测技术发展积累了宝贵的经验，该成果对软基上修建土石坝、大堤施工期安全监测有着较广泛的应用价值和推广前景。

3 主坝淮北段中心沟地基处理技术

中心沟位于主坝淮北段桩号7+120～7+190之间，平均宽约70 m，原为邱家湖圩区内一条排涝渠道，正常水位18.50 m左右，东西走向，基本垂直于坝轴线方向横穿主坝整个坝基。中心沟清淤前沟底高程16.90～17.10 m，清淤后沟底高程14.50～15.40 m。

中心沟处地基主要有6层土：第（2-1）层中粉质壤土夹轻粉质壤土、第（2-2）层中粉质壤土夹淤泥质土、第（3）层重粉质壤土、第（4）层中粉质砂壤土、第（5）层细砂、第（8）层粉质粘土。

清基后基底为第（2-1）层中粉质壤土夹轻粉质壤土、第（2-2）层中粉质壤土夹淤泥质土。第（2-1）层中粉质壤土夹轻粉质壤土为可塑至软塑，标贯N_{10}=15.3击，承载力100 kPa。第（2-2）层中粉质壤土夹淤泥质土，灰至灰黑色，局部黄色，一般为软塑状态。层顶高程14.50～15.40 m，层底高程12.00～15.26 m，平均含水率42.6%，平均干密度1.29 g/m^3，孔隙比1.18，标贯击数较小（N_{10}=11.9击），（2-2）层中粉质壤土夹淤泥质土压缩模量3.05 MPa，粘聚力20 kPa，内摩擦角3°，渗透系数为10^{-6}cm/s。该层土强度低，压缩性较大。

中心沟施工时间为2002年11月8日～11月26日。施工时，在坝基上下游外侧填筑施工围堰，将沟内积水排除并清除表层浮淤后，利用人工配合挖掘机顺沟底开挖一条排水龙沟，在沟底中间开挖1 m×1 m排水沟，将渗水集中至沟两端积水坑内，用水泵排至围堰外。坝基回填自下游40 m一段向上游施工。结合层（三层土）填土厚度约98 cm，采用轻型压实机具（59 kW东方红推土机）碾压6遍。第一层填土厚30～40 cm，平均压实度南边为0.90、北边为0.91；第二层填土厚30 cm，平均压实度南边为0.91、北边为0.93；第三层填土厚30cm，平均压实度南边为0.91、北边为0.92。

中心沟基底（2-2）层中粉质壤土夹淤泥质土厚2～4 m，不宜挖除，且该层土渗透系数小，降水困难，其前三层土回填压实度难以达到规范[2]要求的0.98。同时由于工期特别紧迫。鉴于以上情况，必须对中心沟进行地基处理。

对中心沟坝基范围内的（2-2）层中粉质壤土夹淤泥质土及已新填的三层土采用粉喷桩加固处理，处理原则是使中心沟部位（2-2）层中粉质壤土夹淤泥质土及已新填的三层土加固处理后的沉降变形与其相邻两侧相适应。粉喷桩采用梅花形布桩，置换率为6%～14%，桩中心间距2.8～1.8 m，不同部位桩间距随坝体高度的增加而减小。粉喷桩设计技术要求为：①水泥采用32.5级普通硅酸盐水泥，水泥掺入比12%，设计粉喷桩直径0.5 m，桩长5 m，实际施工时必须保证桩尖插入第③层土深度不小于0.5 m，停止喷粉面位于地面以下10 cm，全程复搅；②桩位放线误差不得大于5 cm，桩体垂直度偏差不得超过1.5%；③粉喷桩施工时必须保证桩体完整性，以最后一根桩成桩以后起算，21 d以后方可进行坝体清基及填筑；④坝体填筑前，表面扰动破坏土层及其它施工废渣等必须清除彻底，75 cm以内铺土厚度可适当减薄，含水率应调整至施工含水率上限，宜采用轻型压实机具压实，防止对已施工粉喷桩造成破坏。

4 塑料盲管排水技术

排水盲管，又称排水盲沟，在使用中常包裹一层土工布起滤水作用，多应用于屋顶花园及地下建筑物顶部覆土作绿化排水、透气；运动场地、高尔夫球场盲沟排水；广场草坪、公园绿地、林荫树木根部排水、透气。有以下特点：①具有极高的表面渗水能力和内部通水能力，引导流向，具有极佳化学惰性，在岩土工中能保持长久的寿命。②轻质、易裁剪、施工简便。③空间网状丝条结构具有极好的抗压能力及适应变形能力。④价格低廉，具极高的综合成本竞争优势。

在工程主坝工程坝体排水设计中，运用排水盲管的特点，在坝体褥垫排水前端沿坝轴线方向布置一道硬式塑料排水盲管，垂直于坝轴线方向每隔15 m布置一道5 m宽的排水带，排水带中布置两道排水盲管，排水盲管外侧依次填筑300 mm厚瓜子片、400 g/m^{2}土工布一层、中粗砂厚100 mm，这样，在排水盲管外侧形成一道反滤，有效的避免排水盲管的堵塞问题。由于排水盲管的抗压性能好，避免了传统材料不能用重型压实机械碾压的问题，大大加快了施工进度。排水盲管在该主坝工程中的成功应用，为类似工程提供了可靠的经验。

5 结 语

新材料新技术在临淮岗洪水控制工程主坝工程中的成功应用，为新材料新技术的推广积累了宝贵的经验，成功地解决了工程设计及施工过程中的一些难题，节省了工程投资，加快了工程施工进度。

参考文献：

[1] 孙业文, 方国材, 杨 中, 等. 临淮岗洪水控制工程初步设计报告[M]. 蚌埠: 水利部淮委规划设计研究院, 2004.

[2] 吴美安, 汪安南, 潘军宁, 等. 混凝土砌块护堤技术研究[M]. 蚌埠: 水利部淮河水利委员会, 2004.

[3] 潘军宁, 宁 勇. 临淮岗洪水控制工程主、副坝护坡抗风浪试验报告[M]. 南京: 南京水利科学研究院, 2003.

[4] SL274-2001 碾压式土石坝设计规范[S].

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net