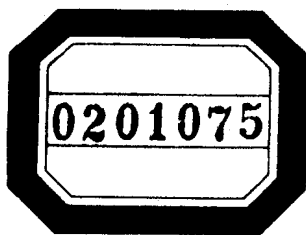
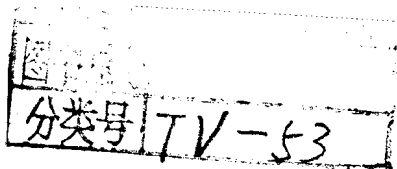


水利水电工程研究与实践

武汉工业大学出版社



006636 水利部信息所



水利水电工程研究与实践

主 编 夏 军 贾金生
副主编 常晓林 徐卫亚 胡志根

武汉工业大学出版社

·武 汉·

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程研究与实践/夏军, 贾金生主编. —武汉: 武汉工业大学出版社, 1998. 3
ISBN 7—5629—1349—8

I. 水… II. ①夏… ②贾… III. 水利工程-科学研究-成就-中国 IV. TV-12

责任编辑: 段 超

ZW74/23

武汉工业大学出版社出版发行
(武昌珞狮路 122 号 邮政编码 430070)
湖北省新华印刷厂印刷

* * *

开本: 787×1092 1/16 印张: 49.25 字数: 1260 千字

1998 年 3 月第 1 版 1998 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1—600 册 定价: 100.00 元

第七届全国水利水电工程青年学术讨论会

顾问委员会

名誉主席:王家柱

顾 问:潘家铮 朱伯芳 陈厚群 谢 镓衡 张蔚榛 张晓鲁
董哲仁 林孔兴 乔生祥 柳太康 陈燕璈 傅秀堂
史震寰 曾凡荣

指导委员会

主 任:龚洵洁

副主任:陈 雷 黄天戌 邓景龙

委 员:(按姓氏笔划排序)

王忠发 孙瑞兴 肖焕雄 陈式慧 陆述远 邹范湘
郑连弟 赵遵廉 高季章 黄化平 陶建生

组织委员会

主 任:杨建东

副主任:刘德富 陈清亚 柴方昆 周厚贵 周创兵

委 员:(按姓氏笔划排序)

丁留谦 王长德 田 斌 邓世洪 刘士和 纪昌明
李义天 李远华 李纪泽 余明凯 吴庆鸣 沈百舸
杨国录 陈润发 孟遂民 段亚辉 胡志根 柳瑞禹
黄立力 郭生练 槐文信

秘 书:余明凯 黄立力

论文编辑委员会

主 编:夏 军 贾金生

副主编:常晓林 徐卫亚 胡志根

编 委:(按姓氏笔划排序)

王先甲 刘士和 李义天 李远华 何玉冰 吴庆鸣
吴建华 周文俊 周创兵 杨开林 杨建东 陈胜宏
胡 忠 茜平一 柳瑞禹 侯建国 柴方昆

秘 书:余明凯 黄立力

前 言

水利是国民经济的基础产业,兴利除害,大力开发水电能源,把有限的水资源管好用好,对国计民生有着举足轻重的影响。未来的二十一世纪,人类将面临水资源危机的巨大挑战。我国正在建设中的长江三峡水利水电枢纽工程,功在当代,利及千秋,亦是对未来挑战的回应。面向二十一世纪的中国水利水电中青年科技工作者肩负着新的艰巨的历史使命。

值此世纪之交,由中国水力发电工程学会青年工作委员会和中国水利学会青年科技工作委员会主办的“第七届全国水利水电工程青年学术讨论会”,于1998年3月在湖北宜昌召开。会议旨在总结过去,面向未来,以新的姿态迎接下世纪的挑战。会议得到了全国广大中青年水利水电科技工作者的热烈响应,与会的代表来自全国各省市水利水电有关的科研、设计、施工、管理和高等院校等单位。

此次会议共收到论文近400篇,内容涉及水利水电科学技术的各个方面,反映了中青年科技工作者在水利水电领域内所取得的新成就。经过大会论文编辑委员会的评审,收录论文227篇,其中本专集收入论文177篇,《水利学报》1998年第3期7篇,《水动力学研究与进展》1998年增刊24篇,《应用基础与工程科学学报》1998年特刊19篇。

这次会议由武汉水利电力大学和中国水利水电科学研究院共同承办,得到了国家自然科学基金委员会、中国长江三峡工程开发总公司、华中电力集团公司、湖北清江水电开发有限责任公司、长江水利委员会、葛洲坝工程集团、湖北省水力发电工程学会、湖北省水利学会等单位的大力协助。并且得到了武汉水利电力大学“211工程”重点建设经费的资助。《水利学报》、《水动力学研究与进展》、《应用基础与工程科学学报》等编辑部及武汉工业大学出版社、湖北省新华印刷厂对论文出版工作给予了热情支持与帮助。在此,我们谨向以上各有关单位表示衷心的感谢。

由于论文数量大、时间紧,在编辑工作中难免出现疏漏和错误,敬请读者批评指正,并请谅解。

论文编辑委员会

1998年3月于武汉

目 录

第一部分 水工结构及材料

砾石土宽级配土料平面应变强度特性研究.....	崔亦昊 晁华怡 张天明(1)
关于混凝土面板堆石坝的面板防裂.....	孙卫军(5)
二维成层弹性介质中的边界元法.....	郝巨涛 刘光廷(9)
三峡水利枢纽泄洪坝段三维有限元分析及深孔应力改善措施研究	杨幼萍 黄 奇 陈 琴 郭仁斌(14)
三峡工程混凝土使用不同水泥和外加剂的技术经济比较	邓正刚(18)
水工混凝土斜坡面滑模技术的进展与特点	李 军 刘克华 程聚辰(22)
带缝重力坝有限元变形与应力的计算分析与研究	李俊杰 李永浪(27)
低热微膨胀混凝土分层浇筑预压应力分析	吕秀红 李振富 黄 虎(31)
钢筋混凝土板非线性有限元分析	赵顺波 宋玉普(36)
抬高淮河王家坝进水闸开闸水位初步研究	段红东(41)
斜拉钢管在小型水利工程中的应用	尤建军 宋勇锋(45)
南水北调中线总干渠稳定性初步分析	王东东 段亚辉(49)
南水北调西线调水工程方案研究	胡建华 张新海 崔 荃 刘生云 李庆中(52)
下游面钢衬钢筋混凝土管道大比尺结构模型应力应变试验研究	杨学堂 吴汉明 伏羲淑 杨 耀 熊德炎 龚国芝(58)
湖南省鱼潭水电站溢流浅孔导流板的设计	赵利军 熊曙梅(62)
混凝土连锁板在天津引滦工程上的应用	李 振 王宏江 周 军 阙兴起 张玉泰(67)
南水北调西线调水对调水区工农业用水及航运、漂木的影响分析.....	韩 侠(71)
隔河岩压力钢管与同期工程的比较	张 君(75)
酸性水玻璃灌浆材料的研究及其应用	郑亚平(78)
大坝实测性态突变理论动态模糊综合评判	何金平 李珍照(82)
功能函数非线性对结构可靠度计算的影响分析	解 伟(86)
铁摩辛柯梁自振特性的计算	何蕴龙 陆述远(90)
大型垂直升船机塔楼结构动力分析研究	扈晓雯 黄泰仁 熊立刚(93)
故县大坝监测网变形分析	刘豪杰(98)
拔出法测强公式的建立与应用分析.....	严武庆(104)
喷混凝土圆柱体试件强度的试验研究.....	李学军(108)
浅谈南水北调中线工程隧洞设计的几个问题.....	武爱玲(112)

南水北调西线工程引水枢纽运用方式初探.....	张 玫	韩 侠(117)
固结砂砾料混凝土力学性能初探.....	邢振贤	盖占方(121)
外掺粉煤灰补偿收缩混凝土性能研究.....	杨天生	王足献(125)
大体积混凝土配合成分优化及混凝土特性研究	马锋玲	王秀军 张承志(130)
脱硫灰在大体积混凝土中的应用研究.....		黄振盈(134)
硬壳式溢流坝的设计及其推广应用.....	尤建军	杨轶楦 宋永峰(140)
悬链线无铰拱渡槽内力计算的电算实现.....	陈恭才	毛崇华(143)
面板坝周边缝止水发展状况和新型表层止水		
.....	贾金生 郝巨涛 于晓中 吕小彬 付元茂 陈肖蕾(150)	

第二部分 岩土工程

土体破损机理的试验研究.....	王士恩	黄楚红(155)
随机裂隙岩体弹性参数的表征单元体.....	周创兵	杨松林 张 辉(161)
复杂坝基渗流对坝体工作性态的影响.....	田 斌	罗先启 刘德富(166)
地下洞室中的关键块体在系统锚杆作用下的稳定性研究		
.....	张艳君	肖尚斌 刘 新(171)
岩溶区水库渗漏类型及处理办法.....	吴长敏	周亚驰(175)
隔河岩库首罗家坳河间地块岩溶渗漏及封闭程度论证.....		周建军(180)
深厚覆盖层上大坝三维渗流有限元分析.....	童富果	田 斌 陈和春 刘德富(184)
地下洞室开挖临空面上的块体计算机搜索.....		肖尚斌(188)
毕节地区滑坡初探.....	吴长敏	周亚驰(192)
大直径辐流式沉沙池不均匀地基的处理.....	吉 刚	何 杰(197)
重力坝地震动力响应分析.....	何蕴龙	陆述远(200)
现今地应力场特征分析.....		张 宁(204)
河南省宝泉抽水蓄能电站风化片麻岩性变研究.....		李 雷(208)
荆江调关坝头下腮护岸崩塌的原因分析及险情整治.....	杨维明	罗运山(212)
单层锚杆式挡墙在北京通惠河工程中的应用与创新.....		朱鸿冰(215)
坝基几种不良工程地质条件的处理.....		陈明贵(219)
钻机取土样试验成果的校正.....		雷莉萍(223)

第三部分 水文水资源及水环境

基于可持续水资源管理的水利水电工程环境影响评价.....	夏 军(225)
黄河流域可持续发展所不可忽视的两个战略问题	
.....	王育杰 乐金苟 丑建筑 伏元州(229)
南水北调西线工程调水对长江干支流水电梯级发电影响分析.....	张 玫(233)
水资源的系统管理方法.....	陈汉辉(237)
毕节地区人畜饮水现状及其对策.....	李 郁(240)

灌区水费计收中几个问题的探讨.....	马月林(243)
我国水利工程建设环境监理的研究.....	张逢军 司毅铭 杨开云(248)
模糊多目标规划在水库移民中的应用探讨.....	洪 卫(252)
商丘试验区多种水源联合调度大系统递阶管理模型及其应用	
..... 齐学斌 庞鸿宾 赵 辉 王景雷 魏永曜(259)	
用时域反射仪(TDR)波形来确定非饱和土中水分的入渗锋面	
..... 孙玉龙 郝振纯 高国志 张和平(264)	
流域降雨产流产沙成因分析与计算.....	张厚军 戴明英(267)
湘南红壤丘陵区季节性干旱发生与变化趋势分析.....	潘保仲 张大中(271)
内蒙古包头地区五大山沟洪水特征分析.....	张志斌 张志明 蔚秀春(275)
实时洪水预报的人工神经网络方法研究.....	何少华(279)
改进的 SMAR 模型在天山区径流模拟中的应用研究	
..... 何新林 雷晓云 郑旭荣 宋 玲(283)	
地下水长观资料的整编.....	沈丽峰(287)
运城地区地下水动态监测井网调整规划及分析.....	赵文敏 曹小虎 卫俊霞(292)
涑水盆地承压水下降漏斗的形成与发展趋势研究.....	曹小虎 赵文敏 杨海珍(296)
景洪市防洪初探.....	毛 革(301)
牌洲裁弯对防洪的影响分析.....	李学山(307)
复杂防洪系统大规模线性规划模型及其应用.....	马 勇 高似春 陈惠源(311)
潜江市水利工程抗洪减灾效益及有待解决的问题	
..... 从维清 帅启富 田隆学 龚书军(315)	
冰川作用流域洪水特征及其影响因素分析.....	雷晓云 何新林 张瑞民(318)
论西辽河为辽河干流的历史渊源.....	鲁由明(322)
大通河流域径流分析研究及水资源评价.....	张继勇 侯晓明 贾新平(327)

第四部分 水力学及泥沙

冷却池近区湍射流与远区环流耦合的数值模拟.....	纪 平(333)
水利建筑物过流能力的模糊随机概率分析.....	韩廷成 王长德(338)
流体力学问题的 Lattice Boltzmann 模型.....	程永光 张师华 陈鉴治 孙利华(343)
浦东机场及上海化学工业区排水规划设计.....	卢永金 王宗仁(348)
青海隆务河流域引水式电站引渠输冰流速问题探讨.....	祁永吉(352)
单环两水源输配水系统的恒定流分析.....	李凌云 朱承军 杨建东 孙利华(356)
示踪试验确定河流纵向弥散系数的迭代算法.....	周新国 聂宪江(360)
水库作为电厂冷却池模型试验研究.....	赵 云(364)
渠道的断面形式对输沙能力的影响.....	王廷贵 侯建设 董凤英 李希霞(370)
黄河西霞院水库淤积形态分析.....	安催花 郭选英 刘继祥 余 欣 韦直林(374)
沉沙池计算中的水流挟沙力.....	杨晋营(378)

三峡枢纽坝下船闸引航道口门外泥沙回淤二维数模计算	李国斌	苏宝林	焦志斌(384)
弯曲河道水利枢纽施工导流的水力及泥沙特性研究	童中山	韩昌海	耿 雷(389)
浑河险工现状与治理措施	阎铁奎	张 勤	杨永杰(394)

第五部分 水电工程施工与测量

三峡工程施工期污染的分析与对策	周厚贵(398)
洞室爆破在面板堆石坝堆石料开采中的应用	谢世坚 伍 元 尚 伟(402)
天荒坪电站地下厂房爆破震动控制	刘兴昌 周四平(406)
板岩骨料混凝土的特性研究	曹俊华(412)
混凝土构件钢板锚固粘贴的施工技术	范玉祥 刘金才(417)
岩滩水电站水下工程混凝土缺陷处理	唐奇端 周福浩(421)
引大东二干渠工程施工索赔的原因及对策	杨荃熙(425)
砂石骨料系统方案设计的线性规划方法	周 贞(430)
大型水利水电工程混凝土浇筑与金属结构安装分析	张五一(434)
变电站附近路基的开挖爆破	胡晓红(438)
隔河岩引水隧洞施工新技术	曾祥虎(442)
吹填技术在太浦河穿湖筑堤工程中的应用	周百尧(447)
天荒坪抽水蓄能电站 9.0MPa 固结灌浆试验施工技术研究	李志刚 崔雪玉(451)
劈裂灌浆技术在三坑上水库除险加固工程中的应用	钟 龙(456)
减小工程测量钢尺拉距过程中倾斜误差的间接算法	孟锋清(461)
西甘池试验洞收敛量测技术研究	薛文政(465)
白石水库导流工程试验研究	
..... 石凤君 姚静芬 王志臣 雷 炎 权雨明 孙传绅(469)	
三峡工程莲沱特大桥施工期沉降监测及其作用和意义	刘祖强(473)
小水电站施工综述	魏尚坤 刘伟平 李 辉(478)
百龙滩水电站水下混凝土施工	韦孟康(484)

第六部分 农田水利工程

中国牧区草地节水灌溉与畜牧业可持续发展探讨	何京丽(489)
使用补偿式灌水器的微灌系统灌水均匀度参数研究	翟国亮 王 晖 向华安(494)
平原湖区除涝排水系统实时优化调度模型	王士武 白宪台 郭宗楼(498)
线性规划在农业产业结构优化中的应用	陈兰芳 何乃军(502)
农业灌溉回归过程及其水量研究	潘霁扬(506)
论我国牧区水土流失与防治对策	赵淑银(511)
自动灌溉系统中一种简捷有效的闸门控制法	
——简化后的门步进法理论与应用	张礼卫 王长德(515)

棉花高产优质喷灌节水技术初步研究	温新明 陆朝阳 张 龙 郭其云 冯 焰 杨青云 张华东 杨凯福(521)
草地集约化经营	
——中国草地畜牧业可持续发展的希望	郭克贞(525)
无调节风力发电提水灌溉人工草场试验初探	苏佩凤(530)
荒漠盐碱地喷灌洗盐的试验研究	
柳耀先 温新明 陆朝阳 李明道 赵家志 华国亚 张 燕 徐 文 张 龙(535)	
季节冻土区弱透水性土壤的辅助排水	吕纯波 李淑贤 薛广瑞(541)
论农田水利机械化施工的喜与忧	周大科 帅启富 郭孝军 刘明耀(545)

第七部分 水利经济及管理

电力建设利用 BOT 投资方式的探讨	刘新华 柳瑞禹 卢金平(548)
抽水蓄能电站事故备用效益定量评价应用软件研究	赵永生 万永华(554)
资产评估在水库淹没补偿中的应用	张华忠 廖少琳(558)
关于水利水电工程建设合同动态管理中若干问题的思考	付修军(562)
电力工程项目后评价分析	吴运卿 柳瑞禹 邓 勇(567)
试论 FIDIC“合同条件”下水电建设管理的几个问题	邓石林 黄智勇 袁文革(571)
大型项目管理软件 Project View3.2 在水电工程中的应用浅谈	曹志宇(576)
水电工程建设工期控制的效益分析	刘家祥(581)
现代企业财务状况多级模糊层次综合评价方法研究	欧述俊 徐 莉(586)
拉格朗德河流域水电开发规划设计研究	黄智勇 邓石林 袁文革(591)
推动技术进步的合同形式	陈国宏(596)
湖北清江水电开发有限责任公司管理信息系统网络建设的研究与探讨	王传宗(599)
固定资产折旧方法对项目经济效益的影响	崔 雪 徐 莉(604)
适应企业发展 转变统计职能 做好综合统计工作	牟 燕(608)
计算机技术在大源渡厂坝工程监理工作中的应用	全宗国(612)
技术改造对企业发展的促进作用	牛玉法 陈炜然(615)
社会主义市场经济体制下工程造价管理的新认识	章劲秋(621)
拉格朗德河流域水电开发建设管理研究	黄智勇 邓石林 袁文革(625)
毕节地区勘测设计研究院勘测设计体制改革总体方案设想	常 瑜(630)
关于水利行业实现“两个根本性转变”的几点思考	由国文(634)
《中国水库大坝多媒体信息工程》系统的研制及应用前景	张 伟 耿延芳(638)
《中国大百科全书》第二版的水利设条探讨	李晓红(642)
灌区投入占用产出模型应用研究	高 峰 雷声隆 马文正(646)

第八部分 水力机械

基于水轮机调速系统非线性模型 Fuzzy-PID 复合控制的研究	崔悦琳 邓世洪 蔡维由(651)
华中电网建设抽水蓄能电站必要性概述	涂长庚(656)
带调压井水电站水轮机调节系统尾波特性研究	赖旭 杨建东 雷艳(660)
吸出高度对水机磨蚀的研究	李学军(665)
羊卓雍湖三机式抽水蓄能电站水泵断电工况的计算和分析	孙利华 赖旭(668)
前倾托辊的自动调心机理分析	宋凤莲(672)
用经济装机容量法确定小型水电站的装机	鲁志军(675)
DK-94 橡胶止水带现场硫化接头仪研制及应用	陈肖蕾 王荣芬 关遇时(679)
BC30 液压铣及成槽试验	李军(683)
小浪底水利工程平面闸门高压定轮设计	乔为民(688)
二滩水电站水轮机金属埋件焊缝质量的 NDT 控制	桂根生(692)
FT-6.5 立轴风力提水机组的技术评估	程荣香 吴永忠(696)

第九部分 电气工程与自动化

主从分布式实时监控数据通信的设计	黄天禾 马小俊(700)
感应式垂线坐标仪自动化监测单元的开发	黎江 黄天戌 任清珍 李德识(704)
一种编码软解码的实现及应用	陶劲松 周文俊 尹业安 肖宏年(709)
提高单片机与 PC 机串行通信可靠性的若干措施	邓世洪 崔悦琳(713)
西寺坪电站计算机监控系统	张光元(717)
水位自动监测及智能动态压力仪的研制	李德识 黄天戌 任清珍 黎江(722)
WF-1 型水位跟踪器的研制	金捷 王振东(727)
CT 层析成像技术在隔河岩水电站中的应用	陈润发 高鹏飞(730)
乌鲁瓦提水电站实现全厂(含 121kV 线路)的自动准同期	陈荣 李东华(734)
水调自动化系统多媒体智能化发展趋势	陈洋波 罗万章(737)
隔河岩水电厂计算机监控系统改造完善综述	邓诗军(741)
精密工程测量自动化记录计算系统研究	刘传金 陈继华 丁万庆 刘豪杰(746)
华中电网兴建抽水蓄能电站的必要性和经济性初步分析	李景宗 王军良(751)
多层建筑的重复接地与总等电位联结初探	王美利(756)
高坝洲水电站 110kV 施工供电变电所及 220kV 开关站接地措施	简家吉(759)
计算机及 CAD 技术在工程设计中的应用	刘金才 毛崇华(762)
世界电力发展现状及其趋势	黄艳(765)
低转差法求大型水轮发电机同步电抗需注意的几个问题	胡嘉武(769)

砾石土宽级配土料平面应变强度特性研究

崔亦昊 晁华怡

(中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

张天明

(云南省水利水电勘测设计研究院, 昆明 650021)

摘要 介绍了宽级配砾石土的平面应变试验及其平面应变强度与变形特性。

关键词 宽级配砾石土 平面应变 强度 变形

随着大型施工机械的发展、筑坝技术的提高以及土石坝设计计算方法的不断完善, 土石坝工程的用料范围不断扩大。就防渗体而言, 国外已大量采用砾质土宽级配土料。因为这种土料具有强度高、压缩性小、承载力大以及渗透性又能满足防渗要求的特点, 是一种良好的筑坝材料。而我国在利用宽级配土料作防渗体方面, 除鲁布革堆石坝利用风化料外, 还研究得不够, 缺乏高土石坝工程的应用经验。

为了促进这一筑坝技术在我国广泛应用, 国家“八五”攻关项目的高堆石坝关键技术问题的研究专题中列入了砾石土宽级配土料作高坝防渗体的研究。砾石土宽级配土料平面应变强度特性的研究即为其研究内容的一部分。

1 平面应变试验

1.1 试验土料

试验土料采用瀑布沟水电站黑马 I 区土料。该土料粗粒含量较大, 为满足防渗要求拟采用格栅筛除法, 剔除大于 80mm 的颗粒。剔除后, 小于 5mm 部分的平均含量为 50%, 小于 0.1mm 部分的平均含量为 22%。由于平面应变试验仪的试样最小边为 10cm, 允许最大粒径为 20mm, 试验用料将其超径颗粒用 5~10mm, 10~20mm 两粒组等量替代法替代。替代后小于 5mm 含量为: 上包线 - 68.8%, 平均级配 - 49.7%。

1.2 试样控制标准

采用标准击实试验成果, 以细料压实度 $D = 0.99$ 进行控制, 试验控制干密度及含水量见表 1。

1.3 试验仪器

试验在中型三轴仪上进行, 平面应变仪压力室为自行加工制造, 由侧向压力室、两端可调动的固定板、垂直荷载加压帽及加压底座组成。试样尺寸为 $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 100\text{mm}$ 。

1.4 试验方法

黑马 I 区土料平均级配及上包线级配均进行了 UU 及 CD 试验。UU 试验时剪切应变速率为每分钟 0.5%。CD 试验时, 剪切应变速率为每分钟 0.035%。试验中 σ_3 采用 0.2、

0.4、0.6、0.8MPa 四级。两种试验均采用自动体变测量仪体外量测试样体积变化。

2 试验成果与分析

黑马 I 区砾石土宽级配土料试验成果见表 1。表 1 中同时列出了部分三轴试验结果, 以比较分析。

表 1 试验结果

级 配	ρ_d (g/cm ³)	W (%)	平面应变				三轴试验			
			UU		CD		UU		CD	
			C_{uu} (MPa)	φ_{uu} (°)	C' (MPa)	φ' (°)	C_{uu} (MPa)	φ_{uu} (°)	C' (MPa)	φ' (°)
平均级配	2.23	6.9	0.129	39.91	0.026	43.66	0.025	35.6	0	38.4
		7.9	0.119	36.11						
	2.27	6.4			0.025	43.86				
	2.30	6.0			0.036	43.41				
上包线	2.19	7.4	0.130	36.89	0.019	42.19	0.025	34.3	0	36.5

2.1 强度特征

(1) 该土料具有较高的强度, 其排水强度凝聚力达 0.026~0.036MPa, 摩擦角达 43°~44°, 与一般无粘性土强度相当。

(2) 与三轴试验比较, 平面应变试验强度高于三轴试验强度。平均级配时(大于 5mm 含量为 50%), 不排水试验凝聚力高 0.104MPa, 摩擦角高 4.3°; 排水试验凝聚力高 0.026MPa, 摩擦角高 5.3°。上包线时(大于 5mm 含量为 30%), 不排水试验凝聚力高 0.105MPa, 摩擦角高 2.6°; 排水试验凝聚力高 0.019MPa, 摩擦角高 5.7°。

平面应变试验强度高于三轴试验强度的原因, 很明显是由于平面应变的平均主应力高于三轴试验平均主应力所造成的。这些规律与其他材料如击实粘土、砂、堆石料、掺合料是一致的。

(3) 随干密度变化, 强度指标没有明显变化。这是由于土料含砾量较高, 在密度为 2.23g/cm³ 的试样中粗粒已起骨架作用, 细料只起填充骨架空隙的作用。当进一步增加干密度时, 主要反映在细料压实度增大, 对土料骨架影响不大, 而土料的强度主要取决于土料骨架, 所以干密度进一步增加, 对土的强度影响不大。

(4) 平面应变试验凝聚力很高, 实际上这并非土的真正凝聚力, 而是砾石土的咬合力。因为由体变曲线可以发现, 剪切破坏时试样体积均不同程度地发生膨胀, 因而颗粒间的咬合力发挥作用使得平面应变试验的凝聚强度增加。凝聚力或咬合力很高的原因, 是因为试验中最低围压只作到 0.2MPa, 没有作更低围压的试验, 所取的强度包线为大于 0.2MPa 以上的直线段。实际上强度包线并非直线, 高压下包线的斜率要比低压下的斜率缓得多, 相应的其与纵坐标的截距要比低压力下的大得多, 故使得凝聚力很高。

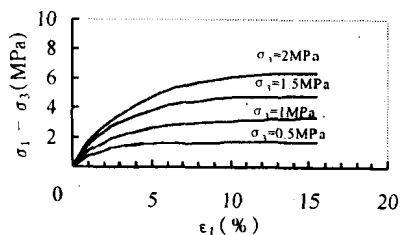
2.2 应力应变关系

黑马 I 区砾石土在三轴试验时, 应力应变关系为硬化曲线(见图 1(a), 限于篇幅, 仅列出了部分曲线, 下同), 而在平面应变试验中, 除个别压力外均呈应变软化类型(见图 1(b)), 但是其峰值并不明显, 基本上属于弱加工软化, 其峰值应变发生在 7.5%~14.5% 之间, 大

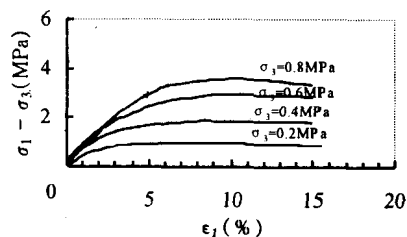
多数发生在 11% 左右。由于其峰值不明显,从整体看其关系曲线可近似视为双曲线,可求出邓肯模型的弹性模量参数 R_f 、 K 、 n 等,见表 2。

表 2 参数综合表

级配	ρ_d (g/cm ³)	试验 方法	R_f	C (MPa)	φ (°)	K	n	L	H
平均级配	2.23	UU	0.865	0.129 (C_{uu})	39.91 (φ_{uu})	527	0.600	0.250	0.109
	2.23	CD	0.929	0.026	43.66	855	0.560	0.248	0.082
	2.27	CD	0.934	0.025	43.86	624	0.800	0.320	0.040
	2.30	CD	0.909	0.036	43.41	590	0.670	0.220	0.200
上包线	2.19	UU	0.900	0.130 (C_{uu})	36.89 (φ_{uu})	590	0.575	0.228	0.144
	2.19	CD	0.866	0.019	42.19	300	0.745	0.292	0.108



(a) 三轴试验



(b) 平面应变

图 1 应力-应变关系曲线

试验方法:CD $\rho_d = 2.23\text{g/cm}^3$ 平均级配

但是,其泊松比 μ 并不需要通过假定轴向应变与侧向应变之间也呈双曲线关系去求得,可直接通过广义虎克定律求 $\epsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E} - \frac{\mu}{E}(\sigma_1 + \sigma_3)$ 求得。因平面应变试验过程中 $\epsilon_2 = 0$,故可求出 $\mu = \frac{\sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_3}$,即由 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 求得。试验资料表明,当 σ_3 值一定时, μ 值从剪切开始起,很快趋于稳定,但随 σ_3 增加, μ 值也随之略有增大,可采用以下表达式:

$$\mu_t = L + H \lg(\sigma_3/\text{Pa})$$

式中, L 为 $\sigma_3/\text{Pa} = 1.0$ 时的 μ 值; H 为 $\sigma_3/\text{Pa} = 10$ 时的 μ 值与 $\sigma_3/\text{Pa} = 1.0$ 时的 μ 值之差。

2.3 体变特征

平面应变试验中,在试验初期体积变化为体缩,试验后期呈剪胀趋势;三轴试验中,体变呈剪缩状态。与其相对应的平面应变试验的应力应变关系为软化曲线(见图 2(a)),三轴试验呈应变硬化(见图 2(b))。这种差别是由于平面试验中平均主应力及侧向变形均较三轴试验的大,所以,平面应变试验初期的压缩变形较三轴试验增长得快,较早的压缩到较高的密度、较小的孔隙率。当试样压密到一定限度后,就难以进一步压缩,此时继续增大剪应力使试样继续产生剪切变形,其阻力最小的途径就是体积膨胀。因为试样的剪切变形是由颗粒间的相对位移造成的,此时要使颗粒移动,首先要克服阻碍颗粒相对位移的咬合作用,必然发生体积膨胀,产生体胀效应。而三轴试验由于平均主应力小,直到剪切破坏还未达到平

面应变相应的压缩程度,所以始终处于体缩阶段,因而造成了二者体变的差别。

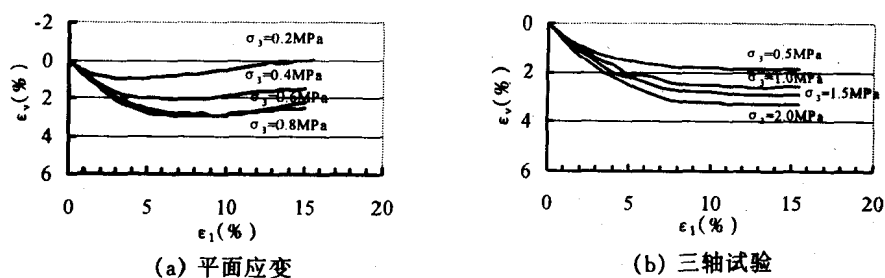


图2 ϵ_v - ϵ_1 关系曲线

试验方法:CD $\rho_d = 2.23\text{g/cm}^3$ 平均级配

3 结 语

通过对黑马 I 区土料进行试验,结果表明不同类型的试验对土的强度与变形均有影响。该类土平面应变试验强度比三轴试验有较大的提高。平面应变试验时,凝聚力提高 0.019~0.105MPa,摩擦角提高 2.6°~5.7°;应力应变关系三轴试验为应变硬化,而平面应变试验为应变软化。但由于其峰值不明显且发生在较大应变时,所以,从整体看其应力应变关系仍可视作双曲线,可按邓肯模型进行分析计算。而其变形参数应按下式计算:

$$\mu_t = L + H \lg(\sigma_3/\text{Pa})$$

试验结果还表明,随干密度增加强度变化不大,所以,从强度考虑填筑标准可按标准击实功能 60.4t·m/m³, $D = 0.99$ 确定。

崔亦昊,中国水利水电科学研究院工程师,1989年毕业于河海大学。

晁华怡,中国水利水电科学研究院工程师,1986年毕业于北京师范学院。

张天明,云南省水利水电勘测设计研究院工程师,1986年毕业于大连工学院。

关于混凝土面板堆石坝的面板防裂

孙卫军

(华东勘测设计研究院设计一部, 杭州 310014)

摘要 建议通过选用较小的水灰比、多用粗骨料和适当减小面板配筋间距等措施, 以减少混凝土的初期收缩性和限制裂缝开展宽度。讨论了有关面板防裂的混凝土浇筑和养护工艺问题, 这些措施如能在设计和施工中综合应用, 可望获得良好的防裂效果。

关键词 混凝土面板堆石坝 面板 裂缝

国内已建的混凝土面板堆石坝, 如西北口、成屏等工程, 混凝土面板都不同程度地发生了裂缝。一般地, 混凝土面板产生裂缝的主要原因是变形、变温和干缩。变形观测资料表明, 这些坝的坝体沉降量均很小, 不足以引起变形裂缝。从裂缝形态上看, 基本沿水平方向发展, 常贯穿整个板块宽度, 相对集中于较长板块的中部、中下部, 间隔有规律, 裂缝宽度通常小于 0.5mm, 多在浇筑后不久或变温较大时出现, 具有变温、干缩裂缝的特征。这种裂缝在国外的混凝土面板堆石坝上也是常见的, 是普遍性问题。

变温和干缩裂缝缝宽细小, 透过这种裂缝的渗漏一般不会危及大坝安全。但是, 考虑到裂缝可能逐渐冲蚀和扩大, 以及防止过大的渗漏水损失, 通常要对宽度大于 0.2mm 的裂缝进行处理, 如西北口混凝土面板堆石坝。有时出于慎重, 也对宽度小于 0.2mm 的裂缝进行处理, 如广州抽水蓄能电站上库混凝土面板堆石坝。因此, 在设计和施工中采取一些经济合理的措施, 尽量减少变温和干缩裂缝, 限制其开展宽度, 对工程外观和安全是有益的。本文从混凝土配合比设计、面板配筋、混凝土浇筑和养护这三方面, 对如何减免裂缝的产生作些讨论。

1 混凝土配合比设计

在混凝土早期抗拉强度尚未达到以前, 由于干缩和温度下降等原因, 会产生一定的收缩变形, 受约束的混凝土会因此产生裂缝。硬化混凝土干缩的内在原因是硅酸盐水泥水化生成的水泥凝胶发生干燥收缩。试验表明, 混凝土的干缩与单位用水量有直接关系。这种干缩变形量由优质骨料干贫混凝土的 200μ (微应变), 到较差骨料富配合混凝土的 1000μ , 高低相差达 5 倍。一般地, 单位用水量每增加 1kg, 干缩变形量约增加 5.6μ ^[1]。因此, 在设计面板混凝土配合比时, 应尽量降低单位用水量。下述几种措施, 在降低用水量的同时, 还可降低水泥用量, 从而降低水泥水化热, 这对减少混凝土初期温度收缩是有利的。

(1) 在满足浇筑和充分振捣要求的前提下, 选用较小的水灰比, 减少单位用水量。目前面板混凝土水灰比多在 0.40~0.50 之间。建议尽量选用小值。

(2) 只要经济并符合工程要求, 应尽量多用粗骨料, 降低单位用水量和水泥用量。使用较大粒径骨料之所以能降低水和水泥用量, 主要是因为粒径增大时, 骨料空隙率降低, 只需要较少的砂浆就可拌制出便于施工的混凝土。

配合比中,粗骨料用量随骨料的粒径增加而增加。对于厚度 30cm 以上的钢筋混凝土面板结构,最大骨料粒径取用 7.5cm 是适宜的,但为了避免钢筋网的筛分作用,最大骨料粒径不要超过钢筋最小净距的 2/3。一般地,最大骨料粒径由 4cm 增加到 5cm 时,每 m^3 混凝土可以减少约 9.3kg 用水量^[1]。目前,面板混凝土最大骨料粒径多用 4cm,如能加大到 6cm,每 m^3 混凝土大致可减少 18kg 用水量和减少收缩变形量 100 μ ,效果是明显的。

另外,骨料的品质和形状也对混凝土的抗裂性能和单位用水量有一定影响。物理上较弱、吸水性能强、易于劈裂或饱和时会膨胀的骨料,与水泥不能良好胶结,会使混凝土产生裂缝、剥落,都是不宜采用的。与水泥有碱活性反应的骨料,会产生使混凝土过早破坏的过量膨胀,也不宜采用。如硅质矿物质、蛋白石、沸石等。

形状好的骨料可在坍落度一定的条件下,减少用水量,按其优劣顺序为:较圆的砂卵石料、人工碎石料、片针状料。

(3) 适当掺用外加剂和掺合料。在混凝土拌合物中掺用减水剂,可以减少用水量。试验表明,在常温和相同含气量条件下,可使用水量平均减少 6%。

混凝土中通常都掺用引气剂,以改善混凝土的耐久性及和易性。引气会增加混凝土的干缩,但它能在坍落度一定的条件下,减少用水量,所引起的净收缩量并不大。引气可以减少泌水和分离,这有利于避免混凝土的表面裂缝。

掺用优质粉煤灰代替部分水泥,也可以减少收缩,但却使混凝土强度发展缓慢。混凝土早期抗拉强度低,是不利于抗裂的,因此,掺用粉煤灰对混凝土面板的防裂效果如何,还须进一步研究。

以上是从减少用水量和水泥用量,从而减少干缩及初期温度收缩的角度,对面板混凝土配合比设计提出的几点考虑。它们与设计优质混凝土配合比的普遍性原则是不矛盾的。按此,可获得强度高、耐久性和抗渗性好、干缩和初期温度收缩小的面板混凝土。

值得一提的是,在经济和技术条件许可的情况下,也可以考虑采用微膨胀水泥,或在拌制混凝土中掺加微膨胀剂,如氧化镁,使混凝土具有延迟性微膨胀特性,可以补偿一定的收缩。如关门山工程曾采用具有微膨胀性的抚顺 525 号大坝水泥,效果良好^[2]。

2 面板配筋

在现代筑坝技术条件下,由于坝体沉陷及水荷载作用而使面板产生的拉、压应力和弯矩都很小,因而面板配筋主要是承受变温和收缩应力。由于出现变温和干缩裂缝一般不会危及大坝安全,所以,过于强调防止变温和干缩裂缝而增加配筋率是不必要的。对于选定的配筋率,为了更好地限制变温和干缩裂缝,配筋方式宜细致斟酌。

目前,面板钢筋一般采用直径 22~25mm 的螺纹筋,钢筋间距 25~30cm^[3]。但从面板配筋的目的出发,原则上,钢筋间距和直径越小,裂缝间距和宽度亦越小。F. 莱昂哈特建议,在不需要粗钢筋来承受荷载的情况下,最好用间距 5~10cm、直径 5~10mm 的钢筋,以免产生可见裂缝^[4]。笔者认为,对混凝土面板,钢筋间距 10~15cm 是适宜的。在一般面板配筋率下,相应钢筋直径小于 20mm。在给面板配筋时,建议优先选用较小的钢筋间距,并使钢筋净距不小于混凝土最大骨料粒径的 1.5 倍。再根据选用的配筋率选定钢筋直径。

面板配筋采用较小的钢筋间距时,更应注重混凝土浇筑工艺和振捣质量,要使钢筋牢靠地固定在面板中规定的位置上,并且在浇筑中不产生下垂。实际经验表明,做不好时,常有