

THEORY & PRACTICE FOR REFORM OF CIVIL & ARCHITECTURE EDUCATION

THEORY & PRACTICE FOR REFORM OF CIVIL & ARCHITECTURE EDUCATION

主 编 田道全

第11卷 Vol.11

11
2009



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

土木建筑教育改革理论与实践

THEORY & PRACTICE FOR REFORM OF CIVIL & ARCHITECTURE EDUCATION

THEORY & PRACTICE FOR REFORM OF CIVIL & ARCHITECTURE EDUCATION

主 编 田道全

第11卷 Vol.11

11
2009

 武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

土木建筑教育
改革理论与
实践

图书在版编目(CIP)数据

土木建筑教育改革理论与实践论文集. 第 11 卷/田道全主编. —武汉:武汉理工大学出版社, 2009. 8
ISBN 978-7-5629-2969-7

I. 土…

II. 田…

III. 土木工程-教育改革-高等学校-文集

IV. TU-4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 130527 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编 430070)

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

经 销 者:各地新华书店

印 刷 者:湖北睿智印务有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:42.5

字 数:1376 千字

版 次:2009 年 8 月第 1 版 第 1 次印刷

定 价:108.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。本社购书热线电话:
(027)87394412 87397097

土木建筑教育改革理论与实践

2009年8月

第11卷

卷首语

2009年8月系列文集《土木建筑教育改革理论与实践》(第11卷)正式出版发行了。它的出版标志着“系列文集”的第二个十年的正式开始。为了迎接这个崭新的开始,编辑部的同志们从第10卷文集正式出版以后就开始了大量而细致的工作。所有的工作都是围绕着“为土木与建筑行业和教育界的所有从业人员提供一个关于探索、试验、总结土木建筑教育理论与实践方法的交流平台”这一宗旨进行的。为了使出版物更贴近土木建筑行业教育教学第一线的实际情况,我们进行了栏目的重新编排,增加刊发了关于专业办学特色研究、人才培养模式研究等方面的论文;在领域上我们继续拓展,增加了建筑学的有关城市规划、人居环境规划等领域的发文数量,以期使文集的覆盖面更广泛,讨论的问题更全面,蕴含的信息更丰富。为了便于编者与作者,编者与读者的交流,伴随着第11卷文集的编务工作的进行,我们编写了一期《编辑工作简报》向系列文集的编委和广大读者及时通报了文集出版的进展情况,我们将尽力使这一有益的尝试能够在以后各卷中保留下去。

去除繁杂的编务工作,在系列文集《土木建筑教育改革理论与实践》(第11卷)正式出版之际,我们完成的最重要的工作是进行了第二届编委会的改选工作。新一届的编委阵容更强大,他们是来自全国各地重点院校和传统的土木建筑专业强校的一线教师和知名学者。编委的遴选工作得到很多院校的老教师和业内专家的支持。正是他们热情的参与、介绍、评价才使得编委会的改选工作得以顺利完成。在这里,《土木建筑教育改革理论与实践》编辑部向他们表示诚挚的谢意!我们应该感谢的还有上一届编委会的所有编委,他们的支持使得我们的系列文集每一期都如期出版,文集的学术水平和在学界的影响力逐年提高,他们为文集十年的茁壮成长付出了心血,贡献了智慧,他们中的一部分人因为各种各样的原因不再担任编委工作,我们诚恳地希望他们能一如既往地关注、帮助新一届编委会的工作。我们希望,在新一届编委会的指导和帮助下,系列文集继续朝着贴近教学改革一线,提高学术水平,增强实用价值的方向发展下去。

《土木建筑教育改革理论与实践》(第11卷)的出版工作得到了广大读者的大力支持,本卷收到稿件范围更加广泛,无论从稿件的数量还是质量方面都较上一卷有了大幅度的提升。本卷审核录用了近200篇论文,设置了四个栏目:“理论与实践专题研究”、“教学方法与课程体系创新研究”、“实践环节教学研究”、“教育理论与教学改革研究”。我们诚恳地希望各学校的教师和行业的工程师,对我们的工作提出宝贵的意见和建议,使这本论文集能够继续高水平、高质量地编辑出版,为我国土木建筑教育事业作出应有的贡献。

《土木建筑教育改革理论与实践》编辑部

武汉理工大学出版社

2009年8月

《土木建筑教育改革理论与实践》系列文集

学术顾问委员会(按姓氏笔画为序):

孙克利 天津大学

李正良 重庆大学

李远富 西南交通大学

辛克贵 清华大学

邱洪兴 东南大学

邹超英 哈尔滨工业大学

施 周 湖南大学

顾祥林 同济大学

编审委员会(按姓氏笔画为序):

丁克伟 安徽建筑工业学院

于 江 新疆大学

于广明 青岛理工大学

尹新生 吉林建筑工程学院

王 岚 内蒙古工业大学

王月明 西南科技大学

王恩茂 兰州交通大学

王崇革 山东科技大学

邓志恒 广西大学

田道全 武汉理工大学

卢 峰 重庆大学

白国良 西安建筑科技大学

龙佩恒 北京建筑工程学院

龙敬庭 湖南城市学院

刘 平 扬州大学

刘 香 内蒙古科技大学

刘俊龙 浙江建设职业技术学院

危道军 湖北城市建设职业技术学院

吕恒林 中国矿业大学

孙 俊 昆明理工大学

庄心善 湖北工业大学

祁 皓 福州大学

吴建敏 陕西职业技术学院

宋博通 深圳大学

应四爱 浙江工业大学

张云波 华侨大学

张建文 广东建设职业技术学院

张朝升 广州大学

李自林 天津城建学院

李炎锋 北京工业大学

李保德 武汉理工大学

杨 宇 重庆大学

陈起俊 山东建筑大学

周学军 山东建筑大学

姜 峰 大连理工大学

胡兴福 四川建筑职业技术学院

赵 研 黑龙江建筑职业技术学院

郝 俊 内蒙古建筑职业技术学院

徐镇凯 南昌大学

袁卫宁 长安大学

贾连光 沈阳建筑大学

高 飞 合肥工业大学

黄 勇 贵州大学

彭 华 武汉大学

彭立敏 中南大学

童谷生 华东交通大学

韩 强 华南理工大学

韩爱民 南京工业大学

蓝万炼 长沙理工大学

雷学文 武汉科技大学

蔡雪峰 福建工程学院

魏连雨 河北工业大学

土木建筑教育改革理论与实践

Theory & Practice for Reform of Civil & Architecture Education

目 录

理论与实践专题研究

智能石墨注浆钢纤维混凝土制备及性能	洪 雷(1)
预应力锚索锚头群锚效应分析	吴岩华 李海林 胡德生(6)
确定杆系结构超静定次数的拆杆法	刘永军 祁 皓 宋岩升(13)
建筑节能与外墙保温技术	付云松(16)
关于结构力学知识的有机联系	戚承志 罗 健 董 军(19)
边坡稳定性分析方法综述	杨泰华 张 峰(22)
谈结构力学图乘法应用中复杂图形的图乘技巧	孙庆巍(26)
管道优质直饮水系统的设计研究	罗 琳 张运华 咎玉红(30)
GIS在房地产估价中的应用	郑晓明(34)
精密水准测量误差来源及其减弱办法	王玉香(37)
从中西园林的特点看现代园林的发展方向	王红英(41)
浅谈滑模摊铺水泥混凝土路面的施工	娄 梁(44)
关于我国工业开发区内工业用地的集约利用开发初探	刘润生(46)
山地人居规划设计思考	刘润生(49)
火车站站前中心区构成要素与国内外相关建设经验借鉴	王红亚(52)
居住空间与社会文化变迁刍议	刘弘涛 张瑞萍(55)
浅谈混凝土结构的加固和修复	李明海 张志奇 谭登祥(58)
建筑电气设计中的节能措施	李江帆(61)
结构损伤识别方法研究现状	翟鹏程 高岳权(66)
浅谈历史街区的保护与更新	刘弘涛 李 秀 苏 军(69)
土木工程结构损伤诊断方法	张志奇 李华刚 谭登祥(72)
建筑项目实施阶段的工程造价管理	孙 晓(76)
浅谈城市广场的客厅功能	张君丽(79)
大跨度钢管混凝土拱桥拱肋吊装施工控制	高岳权 翟鹏程(82)
浅谈城市规划的误区	刘弘涛 梁 爽(86)
连续刚构桥施工阶段混凝土温度裂缝分析	谭登祥 张志奇 李华刚(89)
四川历史文化名镇郪江解析	刘弘涛 曾明颖(92)
煤制氢装置中检测仪表的选型与控制系统设计介绍	徐群丽(95)
陈设设计的符号学在室内风格传承中的作用	陈 烨 吴 巍(101)
浅议城市规划与管理中的城市生态问题	曾明颖 鲜青松(104)

教学方法与课程体系创新研究

关于工程地质学实践性教学改革的几点思考	年廷凯 杨 庆(107)
---------------------------	--------------

道路勘测设计课程教学研究与实践	张 玥(110)
土木工程专业英语教学方法探讨	孙黄胜 孙跃东(113)
建筑材料课程教学体验	刘 芳 万朝均 王 冲(116)
钢筋混凝土结构教学中创新思维的渗透实践	王立成 王吉忠 刘 毅(119)
PBL 在建筑数字技术课程教学中的应用	栾 蓉 高 燕 李晓琴(123)
不同专业的混凝土结构设计原理课程教学方法探讨	高春彦(127)
案例教学在城市规划原理教学中的应用	刘大鹏 赵 艳(130)
抓住课程的特点进行教学研究——浅析道路勘测设计课程教学改革	游润卫(134)
对工程管理专业运筹学课程教学改革的一些思考	张爱琳(138)
多媒体在土木工程施工课程教学中的应用研究	李晓光(141)
土木工程专业工程地质学的教学探讨	王英浩(144)
泵及泵站课程教学研究与探讨	刘晓艳(147)
素质培养与房屋建筑学教学改革	杨有广 范 颖(150)
由混凝土结构专业英语课引发对双语教学的思考	郝润霞 李 斌(152)
土木工程施工课程教学改革研究	毛金萍(155)
结构力学课程教学方法的探索与实践	王 宇 海 洪 刘永军(158)
混凝土结构耐久性与行为评估课程建设	刘志勇(161)
工程量清单计价模式下土木工程造价课程的教学改革探索与实践	李维红(164)
提高建筑工程课程设计教学质量的探讨	范 涛 易 宁 周 舒 高涌涛 赵 晓(168)
建筑结构过程考核方案的制定与实施	郑晓明(171)
工程估价课程教学改革探索	周景阳(173)
土木工程概论课程建设的思考	韩 森(177)
应用型土木工程专业结构力学精品课建设实践	宋岩升 刘永军(179)
交通工程双语教学模式的探讨	杨孝宽 曹 静 赵晓华(182)
“空气调节用制冷技术”教学探讨与体会	毕月虹 刘 赟 田瑞杰 王欣红(186)
道路景观学课程体系探索	魏中华 翁剑成 张金喜(188)
对提高土木工程专业学生专业英语水平的思考	白正仙 田 帅(191)
气体动力学声速的教学方法研究与实践	樊洪明 刁彦华 尹志芳 姜海航(194)
高校开设环境岩土工程课程的必要性分析	张志红(197)
关于如何提高工科类本科生专业外语水平的探讨	李俊梅 李芙梅 李炎锋 孙育英(199)
互动型交通工程设计综合课程体系建设的探讨	翁剑成 魏中华(202)
建筑环境学与专业课教学相互关系的探讨	简毅文 陈 超 蔺 洁(206)
交通工程总论双语教学的实践与探讨	贺玉龙 杨孝宽 赵晓华(209)
交通规划习题课教学有关问题的探讨	边 扬 赵晓华 魏中华(213)
工程流体力学教学体会	刁彦华 谢静超 樊洪明 崔明建(216)
建环专业课程教学中创新能力培养探讨	蔺 洁(218)
浅谈土木工程测量课程教学体会	鲍 艳 韦宏鹄 马宏伟(222)
土木工程材料教学方法探讨	李 悦 周孝军(224)
关于工程地质与水文地质课程教学内容探讨	白玉华 张永祥(227)
行为理论是交通管理与控制课程的基础	石建军 贺玉龙 常书金(230)
混凝土结构实践性教学模式的探讨	刘 艳 丁克伟(234)
概念设计在混凝土结构原理课程教学中的应用	李永梅 史炎升 张 力 王 珏(237)
高职暖通施工技术课程项目化改造初探	刘婷婷 田娟荣(241)
土木工程专业英语课程“增值”环节探讨	张明靓 方召欣(245)
浅谈建筑 CAD 课程教学的改革	刘 敏(249)
水质工程学课程双语教学的实践研究	董良飞 李 艳 涂保华 张凤娥(252)

关于工程造价课程名称的探讨	黄伟典	王艳艳	张友全(255)
基于创新教育的项目管理学课程教学改革	傅 纯	彭立敏(259)	
借鉴 MIT 经验,进行工程振动与稳定基础课程改革	张 楠	夏 禾	郭薇薇(263)
在暖通空调课程教学中培养学生创新能力的探索与实践	孙丽颖	董 惠	张小彬(267)
土木工程材料课程教改实践研究	陆金驰	陈 凯	陈存恩(270)
土木工程材料课程设计性实验与综合性实验研究	杨医博	梁 松(274)	
怎样上好“土木工程材料”这门课——教学体会点滴		彭小芹(279)	
重庆大学“土木工程材料”课程教学改革研究与实践		吴 芳(281)	
桥涵水文教学与实践探讨	金清平	高永红(285)	
地铁与轻轨课程建设构想		欧尔峰(288)	
关于材料力学教学方法的探讨	张钧强	张京穗(292)	
城市规划专业课程体系优化研究	张瑞平	刘弘涛(295)	
浅析我国城市规划专业理论课教学内容与方法改革		赵 敏(298)	
大学生科研技能训练课程探索与实践	郭薇薇	夏 禾	张 楠(301)
关于混凝土房屋结构设计课程教材建设的思考		孙 静(304)	
提高钢结构教学效果的探索和实践	周焕廷	杨志勇(306)	
建设项目管理课程体系的建设和实践	彭 盈	邹琢晶	谭大璐(309)
新马克思主义对城市规划学科体系的影响		向铭铭(312)	
土木工程施工课程教学方法改革探讨	姚锦宝	夏 禾	张 楠(316)
研究生振动测试技术课程的教学探索	黄绚晔	夏 禾(320)	
关于城市规划专业居住区规划设计课程的教改探讨		喻明红(323)	
岩土工程测试技术课程教学改革思路	朱 彬	任建喜	谷拴成(326)

实践教学环节研究

岩土力学实验课程的教学改革与实践	王述红	范 泽(329)	
优化设计教学实践与探索	王 伟	许卫错(332)	
高等工科院校学生毕业设计与创新能力培养	魏连雨	王 朋(335)	
土建类本科毕业设计指导模式探讨		郭 震(338)	
无机非金属材料工程专业本科生毕业论文过程管理与质量保障 体系的探索与实践	万朝均	黄佳木	刘 芳 彭小芹 王 冲(341)
将结构振动控制技术引入本科生的教学实践	霍林生	李宏男(346)	
综合性、创新性实验教学中结构实验室的管理	闻 洋	李 斌(349)	
实验教学质量控制和规范化管理模式探讨		伊晓东(352)	
指导土木工程专业毕业设计的实践与探索	刘书智	郭晓燕(355)	
谈生产实习教学改革的重要性	韩丽华	姜 萌(358)	
工程造价专业实验教学改革的研究	王艳艳	陈起俊	黄伟典 周景阳(361)
土木工程专业提高毕业设计质量方法的探讨		郭晓燕	薛 刚(364)
提高钢结构方向毕业设计质量的探讨		刘华琛(367)	
钢结构课程设计改革探讨	高涌涛	傅鹏斌(370)	
对非测绘专业测量实践教学环节的探讨	陈 伟(373)		
加强施工技术课程实践教学,促进毕业生就业		苏延桂(377)	
建环专业创新实验教学的探索与实践	毕月虹	樊洪明	尚春鸽(379)
交通仿真技术在交通工程实践教学中的应用	曹 静	杨孝宽	赵晓华(382)
公路工程测量实习教学模式改革及考核指标探讨	韦宏鹄	马宏伟(386)	
交通调查实践对学生能力的培养分析	于 泉	边 扬	赵晓华 荣 建(389)
浅谈土建类专业毕业设计(论文)中学生创新能力的培养	李俊梅	李芙梅	李炎锋(392)

利用文献阅读与讨论提高研究生专业课教学质量的实践	苗英豪 韩 艳(396)
在土木工程课程教学中加强对学生工程设计能力的培养	李永梅 高向宇 董 峥 张 力(399)
浅析如何提高土木工程专业研究型毕业论文质量	张微敬(403)
深化城市道路交通工程设计实践教学改革的探讨	张智勇 翁剑成(407)
双证书目标下双师制的专业课程实践教学模式的探讨	贺玉龙 石建军(410)
土木工程专业实习教学的思索	李 悦 谢 冰(413)
完善交通工程专业本科实践教学的探讨	贺玉龙 张金喜(416)
交通控制课程设计理论与实践平行建设探讨	于 泉 荣 建 张金喜(419)
土木工程专业钢结构课程教学改革初探	刘凌云(422)
提高土木工程专业毕业设计质量的探讨	徐 岩(425)
高层建筑结构模型试验中加强过程控制提高学生综合分析问题能力	刘智敏 吕晓寅 邢佑慧(428)
加强土木工程专业实践教学环节质量监控的措施	关 群 王子安(431)
基于实践应用的土木工程专业课堂教学改革探索	吴建华 徐 璘 干 惟(434)
通过实践环节培养应用型人才的沟通能力	高永红 雷学文 谢 宁(438)
毕业设计过程中的案例教学探讨	杨志勇 田 水(440)
CAI在钢筋混凝土结构课程设计中的应用	王亚莉(442)
浅析工科院校城市规划专业实践性教学环节的培养重点	董 晶(445)

教育理论与教学改革研究

“大土木”专业改革背景下的创新人才培养	李炎锋 李俊梅 樊洪明(448)
特色专业人才培养与学科专业教学融合探讨	李明华(451)
发挥结构设计竞赛作用,提升大学生综合素质和创新能力	彭兴黔(455)
新时期土木工程专业的办学思想与特色	银英姿 刘 香(459)
创造教育的内涵及在高校专业课教学中的实践	曹相生 孟雪征 郑晓英(462)
土木工程类大学生职业规划的探索	郑立新 梁前明(466)
研究型教学在土木工程本科培养中的应用	李 钢 郭姝媛(469)
论工程管理专业人才培养创新能力的培养	祝连波(473)
试论通识教育对理工科大学发展的影响	丁玉贤(476)
以学生为主体的教学方式的思考	张云升(479)
在解题中培养学生综合分析的能力——以钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算为例	范 涛 高涌涛 徐湘涛(481)
土木工程专业高层次应用型人才培养的探索与实践	王吉民(484)
计算机教学在我院土木工程专业培养中的改革探讨	柯长仁 蒋俊玲(487)
浅谈高职院校学生素质教育的必要性	王玉香(490)
土木工程专业认知教育教学研究与实践	崔清洋 刘训良 吴发红 朱 华(493)
道桥专业以培养应用型人才为导向的毕业设计改革探索和实践	高永红 雷学文 金清平(497)
实验室开放的现状及对策研究	周文娟 路宏波 陈家珑(500)
交通运输规划与管理硕士研究生课程设置初探	韩 艳 荣 建 秦焕美(503)
“参与式”教学模式初探	简毅文 陈 超 毕月虹 尚春鸽(508)
土木工程专业实用创新型人才培养模式研究	彭一江(511)
强化专业认知,促进土木工程新生学风建设的思考	李雄彦(515)
利用现代主流设计技术构建土木专业课程群的新型教学系统	孙国富(518)
浅谈交通工程专业的创造教育	魏中华 陈雪梅 边 扬 赵晓华(522)
改革教学方法,培养创新型人才——以大学生信息素质教育为例	李炎锋 陈志东(525)
浅谈我国高职高专教育发展的主要问题	高东宁(528)
试论构建教学质量监控的长效机制	陈 明(531)
博士教师从事新生辅导工作模式的实践与研究	王文杰 彭凌云 董 静(534)

浅谈工科研究生创新能力的培养	陈 超 毕月虹 简毅文 尚春鸽(538)
如何在一堂演示实验课中实施创新培养	蔺 洁 韩连茹(541)
创新型大学生的培养与思考	邓洪亮(544)
高校创新人才培养的探讨与思考	胡玉转 王 杨 刘世良(548)
打开心灵之窗 拓展就业之路	胡玉转 王文杰 张彦军 刘世良(551)
以双赢为目标来调整导师和研究生的关系	李 冬 王俊安(554)
本科生创新能力培养的探讨	李 明 李炎锋 王 玲 汪海燕(558)
辅导员在大学新生入学教育中的作用与实践研究	李 妍(560)
创新学生党建 促进学风建设	李 悦 胡玉转(563)
高校学生管理法律纠纷原因分析及防范对策研究	李振兴 李炎锋 白玉华 王雪竹(567)
“大土木工程专业”创新型人才培养的研究与实践	李振兴(571)
土建类大学生第二课堂教育与创新能力培养探索	李振兴 李炎锋 白玉华 王雪竹(573)
谈谈针对理工科大学生开设人文素养教育课的必要性	刘斌云(576)
浅谈上好每一堂课	赵晓华 杨孝宽 贺玉龙 曹 静(579)
高校专业教师兼班主任的实践与体会	全贞花 王 伟 毕月虹(582)
基于网络环境下研究生课程辅助教学体系的探讨	王 伟 郭庆慈 甘 甜(585)
网络环境下高校专业课程教师角色研究	王 伟 肖 婧 张富荣 华高英(588)
高校班级网络化管理的几点思考	武锦婷(591)
专业实验体系改革中探索创新意识培养的途径	吴 珊 吕 鑑 郝瑞霞 张 英(594)
面向新体制新制度的给排水工程专业定位探讨	吴 珊 吕 鑑(598)
校院两级管理体制下浅谈大学生就业指导体系的构建	王雪竹(601)
提高公共选修课教学质量的思考	谢静超 刁彦华 樊洪明(604)
高校学生社区中的大学生思想政治教育工作浅析	王雪竹(607)
在校本科生交通运输类专业人才需求问卷调查与分析	韩 艳 苗英豪 秦焕美(610)
高校创新型人才培养的理念和方法研究	章慧蓉(614)
创新教育模式下高校教师的素质与培养	全贞花 谢静超 李炎锋(619)
应用型高校大学生就业指导课程体系的构建与思考	刘 刚(622)
全程动态跟踪 培养应用型人才	马成松 魏科丰(627)
改进教法 培养能力	刘彩棉(630)
资质认证考试制度与工程管理专业本科培养方案研究	陈敬武 陈立文(633)
基于环境艺术教育下的情感培养	刘 佳 刘斯荣(640)
利用创新性实验提高大学生的科研和创新能力	战家旺 夏 禾 张 楠(644)
因材施教与拔尖人才的培养研究	吴 萱(648)
试论城市规划教育的改革与实践	符娟林(652)
建立完整的实习体制 培养高素质的应用型人才	董鹂宁(656)
新形势下城市规划专业人才培养的教学探讨——以居住区规划原理教学改革为例	赵春容 符娟林(659)
土木工程专业人才培养方案研究	李 斌(662)

智能石墨注浆钢纤维混凝土制备及性能

洪 雷

(大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁大连 116024)

摘 要 提出了制备智能石墨水泥砂浆渗浇钢纤维混凝土(Graphite Slurry Infiltrated Steel Fiber Concrete, 简称 GSIFCON)的工艺。研究了石墨和钢纤维掺量对 GSIFCON 的强度、电阻率及通电升温规律。试验结果表明,石墨及钢纤维掺量对 GSIFCON 电阻率的影响均有明显的渗滤阈值存在。当石墨和钢纤维掺量在达渗滤阈值时,可使 GSIFCON 的电阻率降低到 $10 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下。在 66.66 V/m 电压降的绝热条件下,GSIFCON 的温升速度平均可达 $10 \text{ }^\circ\text{C/h}$ 以上。

关键词 智能;石墨;钢纤维;电热特性

中图分类号 T528 **文献标识码** A **文章编号** 2009-01-004

1 前 言

水泥基钢纤维复合材料,又称钢纤维混凝土,是为改善混凝土脆性而生产的一种特种混凝土。根据其制备工艺可分为普通钢纤维混凝土和渗浇钢纤维混凝土。普通钢纤维混凝土是按普通混凝土的生产工艺,在搅拌过程中加入一定量的钢纤维经振捣成型而成,但由于在搅拌成型过程中,高掺量钢纤维会严重导致纤维离析、成团及混凝土含气量过大,实际钢纤维体积掺量很难超过 2%。所谓的渗浇纤维混凝土(Slurry Infiltrated Steel Fiber Concrete,简称 SIFCON),是将钢纤维事先放置在模具内,再将具有一定流动性的砂浆或净浆注入模具,经轻微振捣成型的一种钢纤维混凝土,其钢纤维体积含量最高可达 27%,一般为 5%~20%,钢纤维长度可达 30~40 mm。

SIFCON 材料的力学性能与普通混凝土相比有了极大的提高。SIFCON 吸收能量的能力与普通混凝土相比相差三个数量级,抗拉强度可达普通混凝土抗压强度同一数量级。钢纤维体积含量 8% 的

SIFCON,抗弯强度比普通混凝土抗弯强度高 500%。

从 20 世纪 80 年代 SIFCON 出现至今,研究主要集中在力学性能方面,而对其力学性能之外的电、磁、热等功能性性能的研究很少。本文利用钢纤维和石墨作为导电相,采用渗浇成型工艺,成功地配制出了石墨水泥砂浆渗浇钢纤维混凝土(Graphite Slurry Infiltrated Steel Fiber Concrete,简称 GSIFCON),并对 GSIFCON 的制备工艺、强度、导电性能及通电升温性能进行了研究。

2 材料制备及其影响因素

2.1 原材料

(1) 水泥:大连小野田水泥有限公司生产的华日牌 P·II 型硅酸盐水泥,42.5 MPa。

(2) 石墨:细度 200 目,含碳量 $\geq 98\%$,含硫量 $\leq 0.05\%$,水分 $\leq 1\%$ 。

(3) 钢纤维:异形钢纤维,其特征值见表 1。

基金项目:建设部研究开发项目(2008-K4-31);大连市科技计划项目资助项目(03-19)。

作者简介:洪雷(1964-),男,博士,副教授,主要从事混凝土材料及智能复合材料的研究。

表1 钢纤维特征值

特征值 型号	长度 l_f (mm)	等效直径 d_f (mm)	长径比 l_f/d_f
ZH-06	32	0.64	50.00
ZH-09	32	0.60	53.33

(4) 硅粉: SiO_2 含量 $\geq 96\%$, 比表面积 $23 \text{ m}^2/\text{g}$ 。

(5) 减水剂: 天津市雍阳减水剂厂生产的 UNF-5 型减水剂, 减水率 18% 。

2.2 试验方法

试件的制备工艺如图1所示。

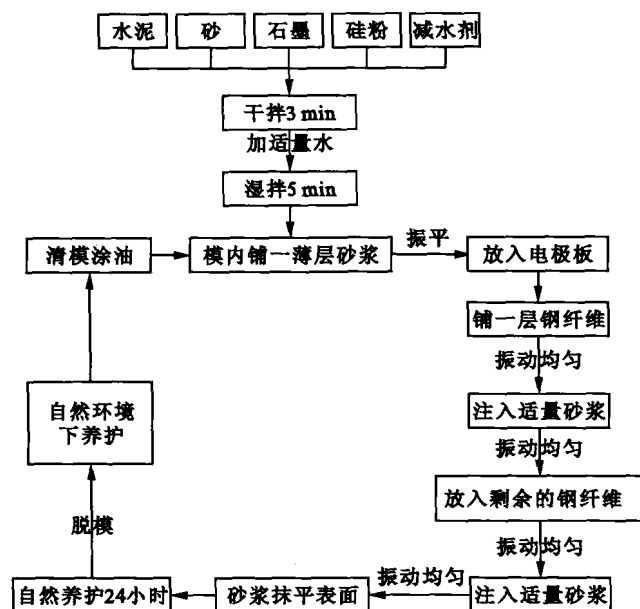


图1 GSIFCON 制备流程

搅拌: 采用 JJ-5 型行星式水泥胶砂搅拌机搅拌, 将水泥、砂、硅粉、石墨和减水剂按配合比称量, 倒入搅拌锅内, 干拌 3 min; 然后倒入一半加了减水剂的水, 湿拌 2 min; 再次倒入剩余水, 搅拌 3 min。

成型: 先在模具底层浇上一薄层水泥砂浆, 振动直至大部分气泡逸出; 放入一半钢纤维及电极板, 振动, 浇入适量砂浆, 振动直至不再有气泡逸出; 放入剩余钢纤维, 振动, 浇入砂浆, 振动至无气泡; 用三棱刮刀抹平表面。

养护: 将成型的试件放入恒温标准养护箱中, 24 h 后脱模, 脱模后放入养护箱水池中养护。

2.3 试验影响因素

为了保证砂浆顺利浇注到钢纤维中, 注浆材料

必须满足一定的流动性。石墨含量和水胶比对注浆材料流动性的影响较大, 这两个参数的确定对 GSIFCON 制备起到关键作用。

2.3.1 不同石墨含量对注浆材料流动性的影响

石墨质量百分含量分别采用了 0、4%、8%、12%、15%, 水胶比分别采用了 0.50、0.55, 砂灰比为 1:1, 硅粉含量为水泥质量的 10%, 减水剂含量为粉体(包括水泥、硅粉和石墨)质量的 1.2%。其流动度试验结果见表 2。

表2 流动度试验结果

石墨质量含量	水胶比	
	0.50	0.55
0	26.0	26.5
4%	22.0	22.5
8%	19.5	21.0
12%	12.5	17.0
15%	7.5	12.3

从表 2 可以看出, 石墨含量越大, 流动度越小。当石墨含量在 0~8% 之间时, 不同水胶比的流动度相差不大。当石墨含量在 8%~15% 之间时, 不同水胶比的流动度差异随着石墨含量增加而增大。

2.3.2 相同石墨含量对不同水胶比注浆料流动性的影响

表 3 为石墨质量百分含量 12%, 水胶比分别为 0.40、0.45、0.50 和 0.55, 注浆材料搅拌后 30 s 和 60 s 时的流动度值。从表 3 数据可见, 相同水胶比时, 流动度随时间的变化较小, 30 s 和 60 s 的流动度值基本相同。但流动度却随水胶比的增大而迅速提高。

表3 水胶比对注浆材料流动性影响

水胶比	流动度 (cm)	
	30 s	60 s
0.40	4.5	4.5
0.45	8.0	8.5
0.50	12.5	13.0
0.55	16.5	17.5

结论: GSIFCON 成型时的注浆试验表明, 当注浆材料流动度小于 12 cm 时, 注浆就变得较为困难, 成型后 GSIFCON 材料的密实性有所下降。从 2.3.1 和 2.3.2 的试验结果看, 注浆材料的石墨含量

不宜大于 12%，水胶比不宜小于 0.5。

2.4 GSIFCON 材料强度

有研究报道,对于素混凝土,混凝土的强度随石墨掺入量的增大而明显降低,石墨重量掺量 5% 时,强度下降会高达 80% 以上。试验表明,GSIFCON 强度也有随石墨掺量的增加而降低的趋势,但降低的幅度要远远小于素混凝土的情况。表 4 为 GSIFCON 材料强度试验配合比,试验采用 100 mm×100 mm×100 mm 试件,标准养护 28 d,试验结果见表 5。

表 4 GSIFCON 强度试验配合比

序号	钢纤维体积含量 (%)	水胶比	灰砂比	硅灰 (%)	石墨 (%)	高效减水剂 (%)
A	4	0.50	1:1	10	8	1.0
B	6	0.50	1:1	10	8	1.0
C	8	0.50	1:1	10	8	1.0

表 5 GSIFCON 强度试验结果

序号	石墨含量 (%)			
	2	4	6	8
	强度 (MPa)			
A	77.5	70.6	70.5	62.5
B	83.2	80.5	78.3	70.5
C	90.5	81.1	78.6	68.3

从表 4 及表 5 可以发现,随石墨掺量的增加,GSIFCON 强度下降,但强度降低的幅度要比素混凝土强度降低的幅度小得多,大约在石墨掺量每增加 1%,GSIFCON 强度约降低 3%~5%。这主要是由于 GSIFCON 中大量钢纤维构成的空间骨架结构减缓了由于石墨掺量的增加导致强度降低的速度。

2.5 GSIFCON 电阻率及升温影响因素

2.5.1 试验装置

试件体积 160 mm×130 mm×40 mm,电极间距 150 mm,采用交流可调电源。温度计探头埋于试件上表面中心位置,试件放置在保温箱内与外界绝热,试验示意图见图 2 和图 3。

2.5.2 石墨掺量对 GSIFCON 电阻率的影响

本文研究了钢纤维掺量为 4%、6%、8% 的 GSIFCON 材料,石墨不同掺量对电阻率的影响,其结果见图 4。

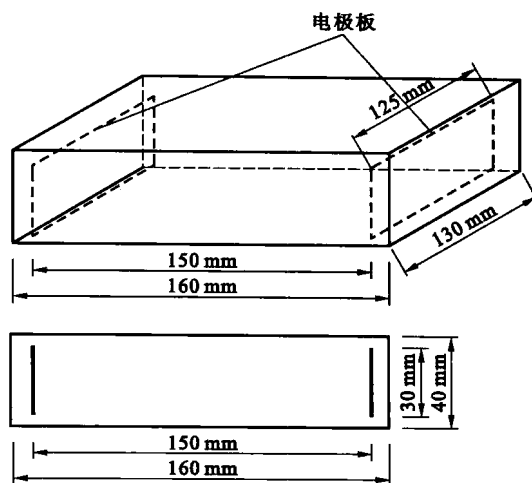


图 2 试件示意图

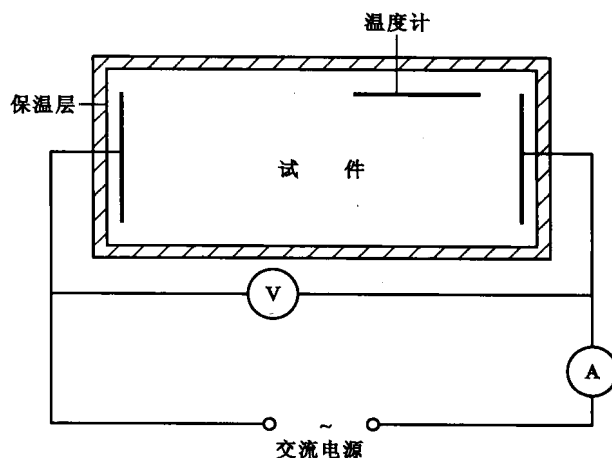


图 3 测温试验图

从图 4 可见,三种不同钢纤维含量的 GSIFCON 材料的电阻率,随石墨掺量的增加,其电阻率下降,并且石墨掺量均存在明显的渗滤现象。所谓渗滤现象,正如所谓无限网链理论认为的那样,当导电材料的掺量较小时,导电材料(钢纤维、石墨)孤立地分散在绝缘材料(水泥砂浆)中,导电作用不大,因而导电材料对复合材料的电阻率影响不明显。随着导电材料掺量的增大,导电材料之间形成导电网链(钢纤维搭接形成搭接网链),这时导电材料的掺量值即为渗滤阈值。由于贯穿导电网链的形成,复合材料的电阻率急剧下降,此后再增加导电材料的掺量会使导电通路更加丰满,导电链的条数更多,因而复合材料的电阻率随导电材料的掺量增加而进一步下降,但此时电阻率下降的速度趋于平缓。从图 4 可见,当钢纤维掺量 4% 时,石墨掺量的上渗滤阈值约为 4% 左右,下渗滤阈值约为 6% 左右。当钢纤维

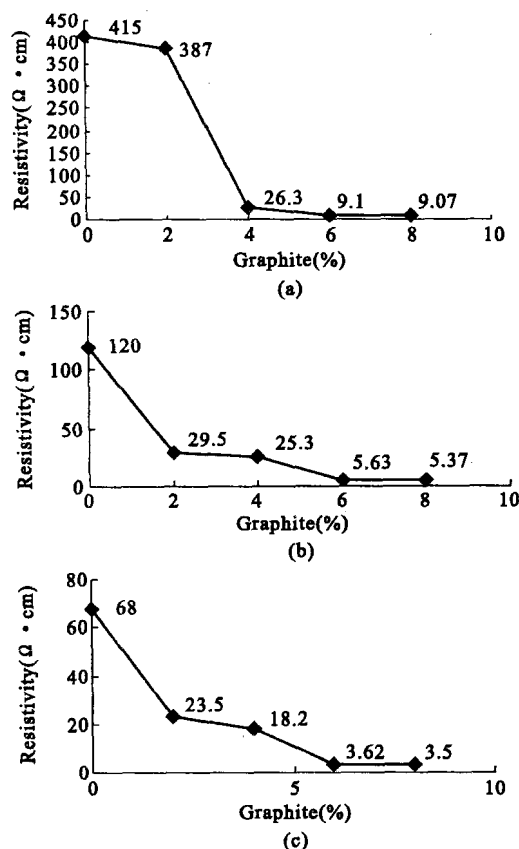


图4 石墨掺量对GSIFCON电阻率的影响

(a) 钢纤维掺量 4%; (b) 钢纤维掺量 6%; (c) 钢纤维掺量 8%
 掺量为 6% 和 8% 时, 石墨掺量的上渗滤阈值将约为 2% 左右, 而下渗滤阈值约为 6% 左右。

2.6 GSIFCON 升温性能分析

采用表 4 配合比对 GSIFCON 材料进行了通电 120 min 升温试验, 图 5 是试件的温升与时间的关系曲线, 试件电压为 10 V (电压降为 66.66 V/m)。从图 5 可以看出, 随通电时间的增加, 试件的温升速度加快, 其平均温升均高于 10 °C/h 左右。

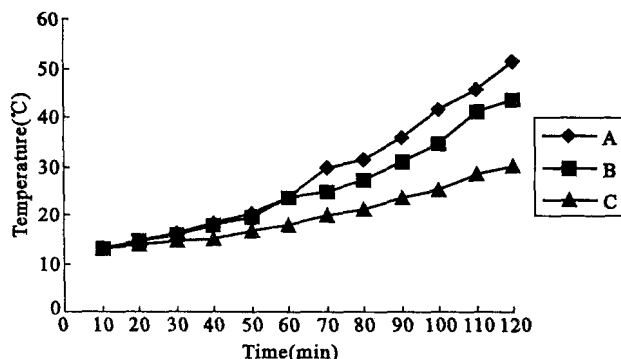


图5 温升与时间的关系曲线

3 结 论

(1) 掺入石墨导电相后, GSIFCON 复合材料的电阻率明显下降。石墨掺量也存在有明显的上下渗滤阈值, 但该渗滤阈值与钢纤维掺量有关。当钢纤维掺量为 4% 时, 石墨的上渗滤阈值约为 6%, 下渗滤阈值约为 8% 左右。当钢纤维掺量为 6% 和 8% 时, 石墨掺量的上渗滤阈值将约为 2% 左右, 而下渗滤阈值约为 6% 左右。

(2) 随着石墨掺量的增加强度有所降低, 但降低的幅度较小, GSIFCON 材料具有优良的力学性能。

(3) GSIFCON 升温效果明显, 在 66.66 V/m 电压降的绝热条件下, GSIFCON 的温升速度可达 10 °C/h 以上。

参考文献

- [1] 赵国藩, 黄承逵. 纤维混凝土的研究与应用[M]. 北京: 中国建筑工程出版社, 2002: 18-22
- [2] A. E. Naaman, J. R. Homrich. Tensile Stress-Strain Properties of SIFCON[J]. ACI materials Journal. 1989, 86(3): 18-22
- [3] V. S. Parameswaran, T. S. Krishnamoorthy, K. Balasubramanian. Behaviour of High Volume Fiber Cement Mortar in Flexure[J]. Cement and Concrete Composites. 1990(12): 34-38
- [4] 洪雷. 水泥基石墨钢纤维复合导电材料制备方法: 中国, ZL200510200757. 6[P], 2008-04-30
- [5] 沈刚, 董发勤. 石墨导电混凝土的研究[J]. 混凝土, 2004 (2): 21-24
- [6] 蒋正武, 孙振平, 王新友. 导电混凝土技术[J]. 混凝土, 2000(9): 55-58
- [7] 高南, 华家栋. 特种涂料[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983: 157-161
- [8] [日] 雀部博之. 导电高分子材料[M]. 曹镛, 叶成, 朱道本, 译. 北京: 科学出版社, 1989: 205-237
- [9] Xie, P., Gu, P., Beaudoin, J. J. Electrical percolation phenomena in cement composites containing conductive fibers[J]. Journal of Materials Science, 1996, 31(5): 4093-4097

Preparation of Intellectual Graphite Slurry Infiltrated Steel Fiber Concrete and its Properties

Hong Lei

(State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering,
Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract Preparation technology of intellectual graphite slurry infiltrated steel fiber concrete (GSIFCON) are proposed. The effects of different contents of graphite and steel fiber on compressive strength and electrical resistivity and electrothermal properties of GSIFCON are studied experimentally. The results indicate that the contents of graphite have clear percolation values. The electrical resistivity of GSIFCON drops less than $10 \Omega \cdot \text{cm}$ when the contents of graphite and steel fiber reached the percolation values. The average temperature rising speed comes over 10°C/h under the condition of heat insulation and voltage drop 66.66 V/m .

Keywords intellectual; graphite; steel fiber; electrothermal properties

预应力锚索锚头群锚效应分析

吴岩华 李海林 胡德生

(海军工程大学航海教研室, 武汉 430033)

摘 要 预应力锚索锚头的设计,通常以使垫墩与围岩接触面的应力不致引起锚头破坏或产生较大位移为准,但对锚头施加预应力后,周边岩土体中会产生附加应力和位移,这类问题的研究尚未在相关文献中发现。本文采用弹性半空间边界上某一点受集中力作用的 Boussinesq 解,推导了预应力锚索锚头周边岩体的附加应力和位移分布的理论解,并讨论了锚头尺寸和岩土体的力学参数对轴应力和位移的影响。结果表明,在施加预应力后,锚头周边形成了一个锥形的压应力场,并随着远离锚头而迅速衰减。最后,将单锚的理论分析推广到群锚问题,得出了群锚的理论解。本文结果对工程设计和研究具有指导意义。

关键词 预应力锚索;弹性半空间理论;群锚;应力分布

中图分类号 TU 443 **文献标识码** A **文章编号** 2009-01-009

1 引言

在预应力锚固结构体系中,预应力锚索对岩土体的加固作用是通过两种途径进行的:一是通过外锚头压紧岩土体,其次是通过索体与浆体的黏结作用(拉力型锚索)或索体通过承压板将预应力传给浆体(压力型锚索),再通过浆体传递给锚固段周边的岩土体。外锚头是对结构物施加张拉力,实现锚固的关键部位,图 1 是大吨位锚索外锚头的典型结构。由于外锚头的存在,才能使预应力永久地保存下来。锚固段的力学分布形式,有很多学者都作出了分析。对锚头的设计,人们一直以使垫墩与围岩接触面的应力,不致引起锚头破坏或产生较大位移为准。但对锚头施加预应力后,在周边岩土体中产生的附加应力和位移则很少有相应的研究。本文试图通过对锚头周边附加应力场和位移的计算和分析,得出具有一般意义的结论,为锚头的设计提供更为可靠的依据。

当全空间的内部某点受集中力作用时,它对应

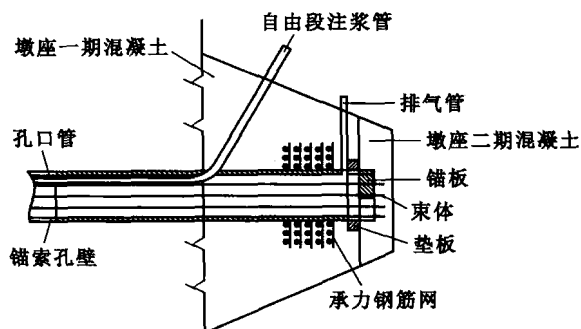


图 1 大吨位锚索外锚头典型结构图

的基本解是 Kelvin 解;半空间的边界某点受垂直于边界的集中力作用,其对应的基本解是 Boussinesq 解,利用这些基本解可以解决很多全空间和半空间的受力问题。本文就借用 Boussinesq 解对锚索锚头的受力进行探讨。

图 2 为空间半无限体边界受法向集中力 P 作用的力学模型,求不计自重作用时体内应力和位移分布情况,这是著名的 Boussinesq 问题,也是轴对称问题。求解出的应力分量及竖向位移分别为

$$\sigma_z = -\frac{3Pz^3}{2\pi R^5} \quad (1)$$

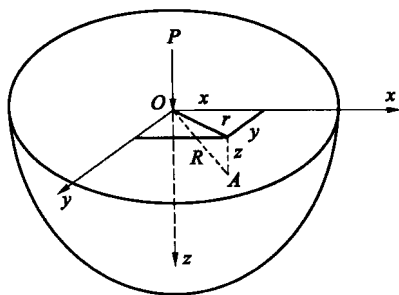


图 2 空间半无限体表面受集中力作用的几何模型

$$\sigma_r = \frac{P}{2\pi R^2} \left[\frac{(1-2\mu)R}{R+z} - \frac{3r^2 z}{R^3} \right] \quad (2)$$

$$\sigma_\theta = \frac{(1-2\mu)P}{2\pi R^2} \left(\frac{z}{R} - \frac{R}{R+z} \right) \quad (3)$$

$$w = \frac{(1+\mu)P}{2E\pi R} \left[\frac{z^2}{R^2} + 2(1-\mu) \right] \quad (4)$$

式中 E ——半无限体材料的弹性模量;

μ ——泊松比。

2 锚头处应力及位移计算的理论解

2.1 应力及位移计算的理论解

假设锚索所在的岩(土)体及锚索为均质各向同性弹性体。我们将锚索锚头部分的受力近似为半空间的边界受力问题,通过 Boussinesq 解可求得该处的应力、位移。

预应力锚索锚头受力如图 3 所示,预应力通过锚头作用在一个环形区域的岩体上。图中, a 为锚头内径, b 为锚头外径, P 为预应力,则

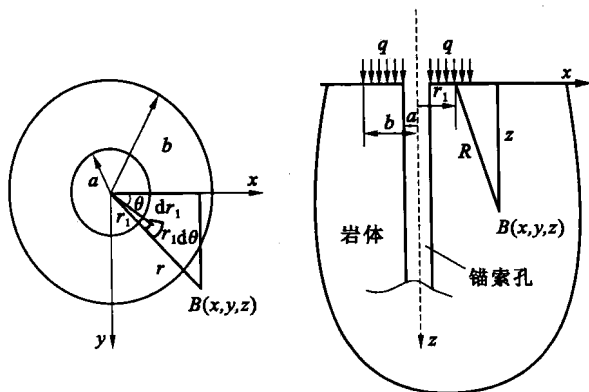


图 3 锚索锚头受力的几何模型

$$q = \frac{P}{\pi(b^2 - a^2)}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$R = \sqrt{r^2 + z^2 + r_1^2} - 2r_1 r \cos \theta$$

由于 $\theta \in (0, 2\pi)$, 可以证明 $2r_1 r \cos \theta$ 的影响在积分过程中很小, 为了简化积分, 本文近似取 $R = \sqrt{r^2 + z^2 + r_1^2}$ 。任意点 B 对微分力 $dP = q r_1 d\theta dr_1$ 积分可得

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_z}{q} &= -3z^3 \int_a^b \frac{r_1}{2\pi(r^2 + z^2 + r_1^2)^{5/2}} dr_1 \int_0^{2\pi} d\theta \\ &= z^3 \left[\frac{1}{(b^2 + z^2 + r^2)^{3/2}} - \frac{1}{(a^2 + z^2 + r^2)^{3/2}} \right] \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_r}{q} &= \frac{1}{2\pi} \int_a^b \frac{1}{r^2 + z^2 + r_1^2} \left[\frac{(1-2\mu) \sqrt{r^2 + z^2 + r_1^2}}{\sqrt{r^2 + z^2 + r_1^2} + z} \right. \\ &\quad \left. - \frac{3r_1^2 z}{(r^2 + z^2 + r_1^2)^{3/2}} \right] r_1 dr_1 \int_0^{2\pi} d\theta \\ &= \left[(1-2\mu) \cdot \ln \frac{z + \sqrt{b^2 + z^2 + r^2}}{z + \sqrt{a^2 + z^2 + r^2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{3z}{\sqrt{b^2 + z^2 + r^2}} - \frac{3z}{\sqrt{a^2 + z^2 + r^2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{z(z^2 + r^2)}{(b^2 + z^2 + r^2)^{3/2}} + \frac{z(z^2 + r^2)}{(a^2 + z^2 + r^2)^{3/2}} \right] \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_\theta}{q} &= (1-2\mu) \frac{1}{2\pi} \int_a^b \frac{1}{(r^2 + z^2 + r_1^2)} \\ &\quad \left[\frac{z}{\sqrt{r^2 + z^2 + r_1^2}} - \frac{\sqrt{r^2 + z^2 + r_1^2}}{\sqrt{r^2 + z^2 + r_1^2} + z} \right] r_1 dr_1 \int_0^{2\pi} d\theta \\ &= (1-2\mu) \left(\frac{z}{\sqrt{a^2 + z^2 + r^2}} - \frac{z}{\sqrt{b^2 + z^2 + r^2}} \right. \\ &\quad \left. - \ln \frac{z + \sqrt{b^2 + z^2 + r^2}}{z + \sqrt{a^2 + z^2 + r^2}} \right) \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{w}{q} &= \frac{(1+\mu)}{2\pi E} \int_0^{2\pi} d\theta \int_a^b \frac{r_1}{\sqrt{r^2 + z^2 + r_1^2}} \\ &\quad \left[2(1-\mu) + \frac{z^2}{r^2 + z^2 + r_1^2} \right] dr_1 \\ &= \frac{(1+\mu)}{E} \left[\frac{2(1-\mu)(b^2 + z^2 + r^2) - z^2}{\sqrt{b^2 + z^2 + r^2}} \right. \\ &\quad \left. - \frac{2(1-\mu)(a^2 + z^2 + r^2) - z^2}{\sqrt{a^2 + z^2 + r^2}} \right] \quad (8) \end{aligned}$$

式中 μ ——近似为岩体的泊松比;

E ——近似为岩体的弹性模量。

由于 Boussinesq 方程的奇异性, 本文根据该方程推导的锚索锚头应力和位移理论公式也具有奇异性。为了更直观地反映这种奇异性, 我们假设 $a = 0.175 \text{ m}$, $b = 0.5 \text{ m}$, 画出 σ_z/q 的曲线(如图 4)。

从图 4 可以看出, 用 Boussinesq 方程推导的预