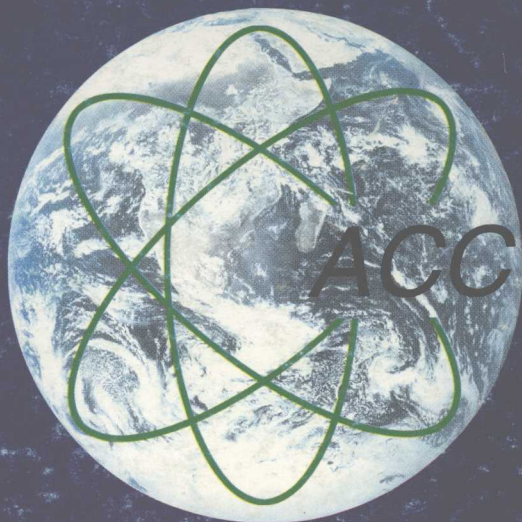


道桥技术新进展

科技学术论文集



云南省科技学术交流中心



陕西人民教育出版社

U41-53
Y492

道桥技术新进展

——科技学术论文集——

云南省科技学术交流中心

主 编:段尔焕

副主编:梁肇伟 徐人平



0675744

陕西人民教育出版社

1755835

图书在版编目(CIP)数据

道桥技术新进展/云南省科技学术

交流中心编. —西安:陕西人民教育出版社, 2001. 6
(科技学术论文集)

ISBN7 - 5419 - 8134 - 6

I . 道 II . 云 III . ①道路—文集②桥梁—文集
IV . U984 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据库核字(2001)第 15286 号

书 名:科技学术论文集

编 者:云南省科技学术交流中心

出 版 者:陕西人民教育出版社(中国西安长安路南段 376 号, 邮编:710061)

责任编辑:王方

封面设计:段卫国

责任印制:黄正中

印 刷 者:云南电力印刷厂

发 行 者:陕西人民教育出版社

开 本:787mm × 1092mm 1/16

印 张:36.8125

字 数:400 千

版 次:2001 年 6 月第 1 版

印 次:2001 年 6 月第 1 次印刷

印 数:0001 ~ 1000 册

书 号:ISBN7 - 5419 - 8134 - 6/T·4

定 价:25.00 元

若发现印装错误请与承印厂联系

前 言

随着国民经济建设的飞速发展,道路与桥梁的建设也随之加快,作为现代化的重要标志之一,道路与桥梁的现代化建设对我国经济建设与国家综合国力的加强有着深远的战略意义。

在国家实施大西部开发之际,为了加强科学技术向生产力的转化,云南省科技学术交流中心积极组织跨区域的学术交流,以增进全国各地专家学者的沟通与合作,促进云南地区技术经济的持续发展。

在全国道桥界广大专家学者的支持下,我们编辑出版了这本《道桥技术新进展》,共收到论文 120 余篇,经过专家委员会认真评审,特选出 90 余篇汇编成这本论文集。其中包括了综述、道路工程、桥梁工程、边坡防护和治理、桩基工程及其它相关技术共六个部分。材料丰富,内容新颖,覆盖面广,不少研究成果具有重要的理论意义及实用价值,论文的作者中既有经验丰富、功底厚实的专家学者,更有许多年轻的新秀。

有学习、有交流、有借鉴才能产生自己的成果,有碰撞才可能创新。今天的时代已具备了良好的学术环境和竞争机制,希望这本文集能对广大读者起到参考及借鉴作用。

这本文集在编辑过程中云南省科技学术交流中心工作人员、陕西人民教育出版社编辑和广大的论文作者都作出了艰辛的劳动,在此,谨向各位表示衷心的感谢。同时,恳请道桥界专家学者指正,并欢迎广大读者对本书提出宝贵意见。

段小峰

2001 年 6 月

目 录

综述

中国公路桥梁钢结构的建造现状和趋势	郭 力 梁肇伟(1)
论我国滑坡体稳定性评估及其防护工程设计	赵玉光(6)
高速公路立体交叉的发展及研究概况	张 飘(12)
世纪之交的美国公路系统:现状、科研成果与投入重点	雍希宏(16)
陕西高等级公路发展研究	原金国(23)
新疆公路网发展战略研究	傅建国 张永华 马川生(29)
高速环道几何线形的研究及评价	李运胜(38)
论大特区城市道路与交通发展趋势	吴嘉启(48)
谢叠大桥预应力混凝土 T 构桥梁加固方案的比选	李新平 高荣堂(54)

道路工程

关于沥青路面设计的一些理念问题	延西利(59)
国道 321 线粤西段边坡稳定性研究	刘瑞华 冯炎基 黄光庆 谭惠忠(64)
软土地基超宽路堤填筑施工及固结沉降的数值仿真	毛 成 邱延峻 林振科(70)
推广真空联合堆载软基加固技术的意义	黄 腾 周春儿 夏振军(75)
超载车辆对沥青路面结构作用的影响分析	艾长发 邱延峻 兰 波(83)
考虑不同轮压形状的沥青路面结构三维应力分析	朱可善 王后裕(89)
水泥混凝土路面病害快速修补	孙家瑛(94)
采用抗滑桩明洞整治公路滑坡病害	何江陵(103)
高等级砼路面横向缩缝成型技术应用研究	谢勇成(109)
水泥砼路面病害控制与快速修补技术	谢勇成(113)
旧水泥混凝土路面加铺沥青混凝土补强层的实践	吴 敏 李胜忠 包永康(117)
HDPE 单、双壁打孔波纹管在公路建设中的应用浅析	赵启鹏 叶长青(126)
公路基层用生石灰粉的质量控制	刘俊尧 刘增田 秦马付(129)
公路工程土工合成材料应用现状	叶 勇 孔祥金(133)
西兰高速公路 E 标二灰土底基层的施工控制	杨宏立(138)
青藏公路改性沥青试验及应用研究	韩 敦(142)
高等级沥青路面早期破坏初探	张晓华 邱延峻 向可明(147)
高等级公路沥青混合料摊铺离析现象的形成机理及其对策研究	王耀波(153)
改性乳化沥青下封层试验研究与应用	马占堂 王广州(156)

- 高路堤加固中的强夯和沙井排水法 王 钊 姚政法 范景相(160)
- 塑料排水板—堆载预压排水固结法的施工一例 邹维列 王协群 蔡大胜(166)
- 浅谈渭(南)—蒲(城)高速公路排水、防护、绿化工程一体化设计 王子鹏 国莉(171)
- 机场跑道耐冲刷混凝土的研究 张雪华 姜正平 陈飏(174)
- 基于 GIS 下的公路勘测设计一体化 包惠明 胡长顺(182)
- 罗宁高速公路软基处理及沉降观测分析 吴跃东 蔡仰松(187)
- 聚氨酯焦油在二级路水泥砼路面中的应用 徐积江 谢阳福 钱统军(193)
- 最大标准差法和最大变异系数法在混凝土试验中的应用 ... 徐人平 王凤武 杜现泽(197)

桥梁工程

- 新型复合材料桥梁加固、改造应用研究 张锡祥 杨恒超(202)
- 高强复合纤维在桥梁结构加固中的应用 艾军 史丽远 郑志东(208)
- 混凝土工程结构裂缝的分析控制与防护处理 汤正华(213)
- 几种有特色的组合梁桥 楼庄鸿(217)
- 斜拉桁架梁桥横向稳定性及抗震性能空间分析 邬晓光(222)
- HEC 高弹性无缝伸缩缝的研究及应用 孙家瑛 张逸君 高先芳(226)
- QINDUN 桥沉降的初步分析与纠偏技术 陈性凯(234)
- 怎样做好人民大桥扩建工程的政府监督 陈性凯(244)
- 桥头病害分析及处治实例 封明聪 朱冀军(249)
- 装配式部分预应力混凝土连续箱梁通用图优化设计 张建功 刘士林(253)
- 预应力混凝土系杆拱桥的荷载试验 李 涛(257)
- 陕西耿镇渭河大桥设计流量计算及防洪分析 陈长海 李冀中(263)
- 三盘大桥下部工程施工简介 罗 涛(271)
- 普通钢筋砼连续箱梁裂缝浅析 林小杨 李志能(275)
- P-E 法在正交异性钢桥面板的应用 彭 力 张朝阳(280)
- 某大桥深水桩的加固维修 王乐辉 王泳道(283)
- 斜拉桥索梁锚固区静载试验研究 陈伟庆 强士中(289)
- 铁路曲线简支砼箱梁的横隔板效应 刘开元 许克宾(296)
- 钢—混凝土组合梁试验结果分析研究 倪 俊 骆行文 戴冠一 原海霞(301)
- 白塔大桥箱梁效应分析 程仁元 郑振飞(305)
- 圆端形薄壁空心高墩的设计计算方法 杨炜国(313)
- 综合顶升纠偏法在煤矿栈桥病害治理中的应用 赵来顺 唐丽云(318)
- 山区公路桥梁基础病害成因及防治对策 孙中堂(324)
- 体外束在桥梁加固中的应用技术研究 郑志东 江文明 方春峰(328)
- 新型锚栓 HDA 在桥梁加固与改造工程中的应用 金健纶 王稚(332)

边坡防治

- 丘陵地区高速公路山坡切方破坏山坡稳定性的力学分析 刘岱全 章 光 袁从华 闵弘 陈继纯(338)
- 高速公路边坡治理中挡土墙的应用 陈静曦 彭衡和 袁从华 宋 军(341)
- 复式滑坡灾害防治工程剖析 袁永旭 罗永忠 鲜文凯 郝红兵(344)
- 土工合成材料在洛三灵高速公路中的应用 姬同庚 郑连群 张 锋(349)
- 基于简化 Bishop 法的路基边坡稳定性分析程序及图解法 朱旭华 王 欣 黄向明 李晓军(352)
- 洛三高速公路重力式锚杆挡墙的设计与施工 范永丰 迟岩冰 罗克卿 贾其友 刘占通 张波(357)
- 软岩蠕滑的综合整治 苏伯森(363)
- 公路岩石路堑边坡的防护及处理技术 徐丽霞 母焕胜(367)
- 高速公路路堑高边坡病害的综合治理 黄 波(370)
- 吉家河大滑坡的治理 王广州(375)
- 公路高边坡锚喷支护施工及监测技术应用 邓万福(380)
- 潭邵高速公路 K90 ~ K95 滑坡表现型式及工程整治设计 袁从华 章 光 周洪波 闵弘(385)

桩基工程

- 大直径桩自反力静载试验研究 段尔焕 胡持平 杨用 侯克鹏 杜现泽(389)
- 钻孔灌注桩泥浆护壁的物理力学性状 虞 颜 李小勇(394)
- 超声波对桥桩质量检测的判别及分析 杨明亮 陈静曦 韩行忠 姜生高(400)
- 西平高速公路项目六标大面积挖孔桩技术研究 张生贵 刘文军(407)
- 灌注桩基设计中的几个问题 牟彦艳 张 巨 牟彦韬 牟玉玮(412)
- 茂名高架桥挖孔灌注桩的组织与施工 李永兴 黄伟思 于 彬(419)
- 水泥喷粉桩的设计及应用 李永兴 黄伟思 于 彬(424)
- 北江大桥岩溶地质厚覆盖层桩基施工技术 刘二明(429)
- 桩基完整性 PSD、V、A 综合判断法 阎光辉(435)
- 三米大直径桩基施工控制与管理 罗志光(441)
- 大截面抗滑桩的极限抗力设计法 陈富坚 包惠明 谭 帅(445)

相关技术

- 高速铁路建设中岩土工程问题的探讨 徐松林 吴 文 张 华(450)
- DICAD 系统开发与推广应用的成功诀窍 李 方(454)
- 磁场对水泥水化的影响初探 汪传松(460)
- 国外道路标线材料的发展趋势 杜玲玲 李兴仁(465)

- 一种新型渗透、迁移、复合型钢筋阻锈剂 周华林 望树岑 胡达和(469)
- 饮酒与行车安全 刘俊尧 王令治(485)
- 结构抗震考虑随机阻尼的动力响应分析 杨志勇 韩志斌 李桂青 魏文晖(491)
- 无粘结部分预应力混凝土板桥在甘肃 S308 线首次应用研究 武和谦 周 勤 孙进玲(495)
- 肯尼亚马一加一霍公路工程项目灌溉的设计与施工 赵怀琪(499)
- 铁路预应力混凝土梁碱—骨料反应病害检测分析 郝挺宁 武慧芬 惠云玲 岳清瑞 佟晓利(503)
- 我国城市布局结构与交通结构选择的探讨 吴范玉 高 亮(511)
- 上海大众试车场 STH 小丘堆土沉降分析 金 宴(518)
- 先张预应力空心板早期裂缝探讨 姜言泉(524)
- 平西高速公路一期工程质量控制对策研究 李群善 韩建华(528)
- 关于实施廊坊市高等级公路智能综合管理系统的情况分析 高洪霞 陈立田(535)
- 网络优化技术在道路项目进度控制系统中的应用 侯永刚 杨春节 李 平(548)
- 浅论后张法施工预应力结构的质量通病及防治 刘 鹏(553)
- 隧道爆破存在的问题及其解决途径 汪传松(558)
- 岩石爆破中动力致破的依据浅谈 汪传松(563)
- 高等级公路的绿化及美化设计 董 方(568)
- 京珠高速公路粤北 J 标段高边坡防护工程中的几个实例 梁志标(571)

野工基封

(1986) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1987) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1988) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1989) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1990) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1991) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1992) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1993) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1994) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1995) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1996) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1997) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1998) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1999) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2000) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2001) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2002) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2003) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2004) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2005) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2006) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2007) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2008) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2009) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2010) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2011) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2012) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2013) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2014) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2015) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2016) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2017) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2018) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2019) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2020) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

木封关封

(1986) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1987) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1988) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1989) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1990) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1991) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1992) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1993) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1994) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1995) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1996) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1997) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1998) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(1999) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2000) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2001) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2002) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2003) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2004) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2005) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2006) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2007) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2008) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2009) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2010) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2011) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2012) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2013) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2014) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2015) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2016) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2017) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2018) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2019) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

(2020) 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强 李 强 孙 强 孙 强 孙 强 孙 强

· 综述 ·

中国公路桥梁钢结构的建造现状和趋势

郭力

(新疆公路勘察设计院 乌鲁木齐 830006)

梁肇伟

(交通部公路科学研究所 北京 100088)

【摘要】 本文叙述了中国公路桥梁钢结构的近期发展。在 20 世纪 80 年代以前,因钢产量很低,经济能力有限,所以曾限制公路桥梁用钢。但在 80 年代改革开放以后,公路桥梁钢结构有了很大的发展,21 世纪将会有空前未有的大好机遇。本文着重介绍了近期建成和正在建造的公路桥梁钢结构的结构形式、建造技术和钢箱梁技术进步。重点介绍广东虎门珠江大桥、福建厦门海沧大桥以及江苏江阴长江大桥等悬索桥,上海南浦大桥、杨浦大桥,南京长江二桥等斜拉桥,广州丫髻沙大桥等钢管混凝土拱桥。从所建的桥梁看来,目前特大型公路桥梁钢结构以悬索桥为主,大型桥梁以斜拉桥为主,中小型的桥梁钢管混凝土拱桥不少。此外,还指出了影响中国公路桥梁钢结构发展的制约因素,以及作者预估的中国公路桥梁钢结构发展的方向和趋势。

【关键词】 公路桥梁 钢结构 发展

1 引言

中国在 20 世纪 80 年代以前,因钢产量很低,经济能力有限,所以曾在公路桥梁建设上限制用钢。钢结构的公路桥梁在全国大、中型公路桥梁中所占的总长度不超过 13.5%,总座数不超过 8.9%。桥型主要是钣梁桥、桁架桥、拱桥、悬索桥。代表性的桥有山东北镇黄河大桥,是一座 4 孔跨径 112m 的栓焊下承式连续桁架桥;浙江黄岩桥,是座 5 孔跨径 32m 的钢钣梁和钢筋混凝土桥面板结合梁桥;四川省渡口市的川西 3 号桥,是建于 1969 年的跨径为 181m 的无铰钢桁架拱桥;重庆市朝阳大桥是跨径为 186m 的双链悬索桥。中国公路钢桥建设真正获得突飞猛进发展的是 90 年代兴建的一大批大跨度悬索桥、斜拉桥和拱桥,因为此时中国的综合国力有所增强,钢产量已于 1996 年跃居世界第一位,达到 10124 万 t,占世界总产量的 13.5%。政府加强了对交通基础设施的投资,特别是 1998 年以后,每年的公路建设投资额达

到一个新的水平 2000 亿元以上(折合美元 241 亿元),所以有可能建造高标准的公路桥梁,加快钢结构桥梁的发展。

2 中国大跨悬索桥的技术进展

20 世纪 90 年代建成的湖北省西陵长江大桥(跨度 900m),广东省虎门珠江大桥(888m),福建省厦门海沧大桥(230m + 648m + 230m)等(见表 1)启动了中国大型全焊钢桥的技术发展,突破了建造全焊钢箱梁结构的技术屏障和观念壁障,填补了这方面的设计、制造、架设和监控的空白,从整体上提高了中国的钢桥建造水平,为以后陆续开工建造的广东汕头觉石大桥、湖北省武汉第三长江大桥、江苏南京第二长江大桥、湖北省宜昌长江大桥,江苏江阴长江大桥等大跨度斜拉桥和悬索桥的建造奠定了技术基础。

表 1 所列桥的钢箱梁都是在工厂内制作成节段,运到工地桥位上拼焊连接,吊装使用的是跨缆吊机,先将跨中段吊上,再从跨中对称地向两岸吊装梁段,直到合拢。焊接的工艺,除了部分采用手工电弧焊外,大量采用带陶质衬垫的药芯焊丝 CO_2 气体保护焊打底,埋弧自动焊盖面的先进工艺,有些焊缝采用摇摆自动焊机焊接。

表 1 中国大跨度悬索桥的结构数据

技术数据	单位	湖北西陵大桥	广东虎门大桥	江苏江阴大桥	厦门海沧大桥
悬吊跨度	m	900	888	1385	230 + 648 + 230
主缆直径	mm	560	678.7	897	570
梁用钢材	型号	16Mnq	SM490C	16Mn	16Mn
梁 宽	m	20.6	35.6	36.9	36.6
梁 高	m	3	3	3	3
标准梁段长	m	12.7	24	16	12
标准梁段重	t	110	295	205	157.5
梁段数	节	72	39	87	94
箱梁总长	m	900	888	1385	1108
箱梁总重	万 t	1.0	1.3	1.9	1.6
建成时间	年	1996	1997	2000	1999

3 蓬勃发展的钢管混凝土拱桥

自 1990 年以来,中国已建成和正在建造的钢管混凝土拱桥已达 100 座以上,其拱肋截面形状丰富多彩,在江南一带中小跨径的无推力普通系杆拱中,除传统的圆形、哑铃形外,还有横圆端形、竖圆端形、双圆形等。广东省中山二桥采用的是方形钢管拱,四川峡门口乌江大桥采用的是集束钢管拱。由于桁肋拱的弦杆所受的弯矩很小,能充分发挥钢管混凝土材料的抗压强度高的特点,所以越来越为新设计的拱桥选用,如福建闽清的石潭溪大桥,辽宁沈阳浑河长青大桥。

中国第一座钢管混凝土拱桥是四川苍东河大桥(115m),采用拱肋与桥墩固结的刚架系杆拱,这种结构采用预应力钢绞线作为拉杆来平衡拱的推力。已建成的下承式刚架系杆拱的有跨径 135m 的河南安阳文峰路立交桥,跨径 150m 的深圳北站大桥,跨径达 280m 的湖北武汉汉江三桥。第一座中承式带双悬臂的钢管混凝土刚架系杆拱桥是广东三山西大桥(200m),四川绵阳涪江大桥跨径是 202m。

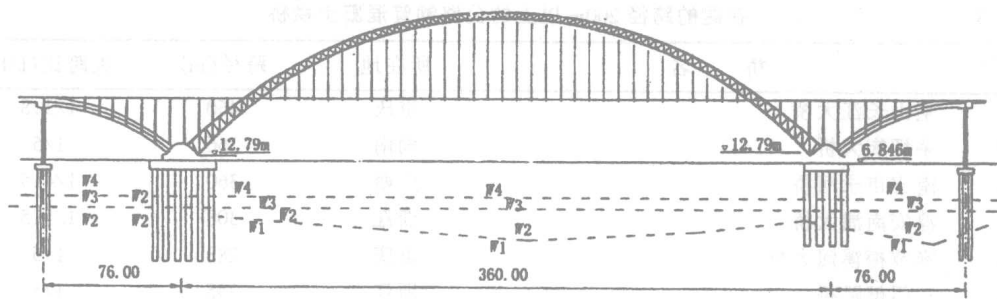


图1 丫髻沙大桥立面图

表2 建成的跨径大于100m的公路钢管混凝土拱桥

序号	桥名	所在地	建成年份	主跨径 m	矢跨比 f/L	结构型式	拱肋线型 离心率 m	断面形式	钢管直径 mm	桥面宽 m
1	丫髻沙大桥	广州	2000	360	1/4.5	中承式	m=2.000	6管	750*18	36.5
2	汉江三桥	武汉	2001	280	1/5	下承式	m=1.543	4肢桁式	1000*10	20
3	三岸邕江桥	广西	1998	270	1/5	中承式	m=1.167	4肢桁式	32.8	
4	秭归青干河桥	湖北	1998	256	1/4	中承式		4肢桁式		
5	汉江五桥	武汉	2001	240	1/5					
6	六景桥	广西	1999	220	1/5					
7	绵阳三桥	四川	1997	202	1/4.5	中承式		4肢桁式	750	26.5
8	南海三山西桥	广东	1995	200	1/4.5	中承式	m=1.300	横哑铃桁式	750*10	28
9	三峡黄柏河大桥	湖北	1996	160	1/5	上承式	m=1.543	哑铃式	1000*10(12)	18.5
10	三峡下牢溪大桥	湖北	1996	160	1/5	上承式	m=1.543	哑铃式	1000*10(12)	18.5
11	景德镇磁都大桥	江西	1997	150	1/5	中承式	抛物线	哑铃式	1000*14	21
12	深圳北站大桥	广东	2000	150	1/4.5	下承式	m=1.167	4管式	750*12	23.5
13	峨边大渡河桥	四川	1995	140	1/5	下承式	m=1.352	混合桁式	550*8	13.5
14	石潭溪大桥	福建	1997	136	1/5	中承式	m=1.167	4肢桁式	550*8	13.1
15	安阳文峰路桥	河南	1995	135	1/5	下承式	m=1.050	混合桁式	720*12	31.5
16	新安江望江大桥	浙江	1993	120	1/4	中承式	抛物线	哑铃式	900*10(12,14)	10
17	成都磨子湾大桥	四川	1998	120	1/5.5	中承式	m=1.543	哑铃式	800*12	7.5
18	旺苍东河大桥	四川	1990	115	1/6	下承式	m=1.543	哑铃式	800*12	14.6
19	莲沱大桥	湖北	1996	114	1/5	中承式	m=1.500	哑铃式	1200*14	20
20	佛陈大桥	广东	1994	112.8	1/5	下承式	m=1.167	哑铃式	1000*14	26
21	金刚桥	天津	1998	101	1/5	中承式	抛物线	哑铃式	900*14	18.4
22	高明大桥	广东	1991	100	1/4	中承式	m=1.756	哑铃式	750*10	12

表 3 在建的跨径 200m 以上的公路钢管混凝土拱桥

序号	桥 名	所在地	跨径(m)	矢跨比(f/L)
1	巫山长江大桥	重庆	460	1/3.8
2	茅坪街大桥	湖南	366	1/5
3	南宁市永河桥	广西	360	1/4.5
4	淳安南浦大桥	浙江	308	1/5.5
5	奉节梅溪河大桥	重庆	288	1/5
6	三门健跳桥	浙江	245	1/5
7	铜瓦门桥	浙江	238	1/4.82
8	邳州运河桥	江苏	235	1/4
9	恩施南泥渡大桥	湖北	220	1/5
10	合川嘉陵江大桥	重庆	210	1/4
11	眉山岷江大桥	四川	206	
12	落脚河大桥	贵州	240	

中国最大的一座钢管混凝土拱桥是广州市的丫髻沙大桥,其立面图见图 1,这是广州市的一座环城高速公路跨越珠江的特大桥,主桥 76m + 360m + 76m,三跨连续的钢管混凝土拱桥。全桥用钢材 10477t,混凝土 49333m³,桥面铺装 18688m²,于 2000 年建成。主拱肋是中承式双肋悬链线无铰拱,边拱肋是上承式悬链线钢筋混凝土箱梁拱,为了传递水平力,主拱肋与边拱肋的轴线处于同一直线上,且拱肋宽度相等。为了使主桥能采用转体施工法,将边拱肋设计成劲性骨架结构。在转体施工时,边拱肋为钢管混凝土结构,利用悬臂的半跨作为平衡重,先竖转主拱肋,再平转,转体重量达 1.4 万 t。

此外,中国还建造了跨径 312m 的广西邕宁县江大桥和跨径为 420m 的四川万县长江大桥,它们分别为钢管混凝土劲性骨架拱桥和箱拱桥。建成的跨径大于 100m 的公路钢管混凝土拱桥见表 2,正在建设的跨径 200m 以上的公路钢管混凝土拱桥见表 3。

4 勇攀世界高峰的中国公路斜拉桥

由于在 200 - 600m 跨度范围内斜拉桥的经济性要优于悬索桥,所以中国在大跨径的桥梁中,优先选用斜拉桥,并不断地向跨度世界之最挺进,从 1987 年建成第一座大跨径的钢结构公路斜拉桥—山东省东营黄河大桥开始,1991 年在上海建成了南浦大桥,跨径 423m,是双塔双索面、扇形拉索布置的叠合梁斜拉桥。1993 年在上海又建成了杨浦大桥,跨径 602m,但加劲梁有所变化,南浦大桥主梁是三跨连续钢—混凝土组合工字梁,梁长(211.5 + 464 + 211.5 = 846),用进口的 STE355 和 STE466 钢材栓焊而成;杨浦大桥主梁是三跨连续钢—混凝土组合箱形梁,梁总长(243 + 602 + 243 = 1070m)。杨浦大桥在当时是世界上跨度最大的斜拉桥(目前排行第四),该桥很好地解决了叠合梁斜拉桥混凝土桥面板开裂的问题。于 2000 年建成的中国南京长江二桥目前世界排行第三位,这是一座三跨连续扁平形状钢箱梁的斜拉桥(305 + 628 + 305 = 1238m),梁用钢材是中国自行研制成功的武汉钢铁公司生产的 490Mpa 级的高韧钢 WQ490E(性能和成份见表 4),梁宽 37.2m,高 3.5m,标准段长 15m,共 93 个节段,梁总长 1238m,总用钢量 18000t,陕西宝鸡桥梁厂制造。今后中国制造的斜拉桥将向世界第一的日本多多罗(Tatara)大桥(890m)挑战。

表 4

WQ490E 钢的力学性能和化学成份

σ_b	σ_s	δ_5	A_{kv}	C	Si	Mn	P	S	Nb	C_{eq}
(Mpa)	(Mpa)	(%)	-40℃	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
≥ 340	≥ 490	≥ 20	≥ 40	≤ 0.15	≤ 0.35	≤ 1.50	≤ 0.025	≤ 0.015	0.015~0.035	≤ 0.42

5 中国公路桥梁钢结构的发展趋势

作为世界上最大的发展中国家,中国钢桥发展的潜力是很大的,有无数的江、河、湖、海、高山、深谷需要跨越,拟修建的跨海通道有琼州海峡、台湾海峡、伶仃洋、舟山群岛、杭州湾、长江口、青岛、渤海湾等,有许多大型和特大型钢桥有待建造。然而制约中国公路钢桥发展依然是经济因素,毕竟钢结构的桥梁要比混凝土结构的要贵一些,所以估计今后建造的桥梁会朝钢—混凝土的混合结构(HybridStructural)发展,其中包括构件截面由钢和混凝土(PC或RC)合成的合成结构(CompositeStructural),以及由钢构件和混凝土(PC或RC)构件通过连接件连组成的组合结构(MixedStructural)。而经济的、造型美观的钢管混凝土拱桥依然会受到青睐,特大型桥梁向1000m的斜拉桥和1500m以上的悬索桥冲击。

今后中国的钢桥建设,除了要贯彻经济实用的原则外,还应多注意造型美观,同时考虑周围的景观设计,要推广应用轧制H型钢和耐候钢,更多地采用新型高强、高韧钢材,优先采用药芯焊丝CO₂气体保护焊,确保工地焊接的质量,并且不断完善钢桥的设计规范和施工规范。

参考文献

- 1 梁肇伟、黄智泉.“全焊钢桥发展的机遇与挑战”.第九次全国焊接会议论文集,第二册.哈尔滨:黑龙江人民出版社
- 2 郑凯峰、梁肇伟、唐继舜.“中国大跨度悬索桥全焊钢箱梁的技术进展”.钢结构,1998(2),46-49
- 3 陈宝春.钢管混凝土拱桥设计与施工.北京:人民交通出版社,1999
- 4 徐升桥、任为东、李艳明.“丫髻沙大桥主桥设计”.桥梁建设,2000(3),29-33
- 5 林元培.斜拉桥.北京:人民交通出版社,1994

论我国滑坡体稳定性评估及其防护工程设计^①

赵玉光

(西南交通大学土木工程学院 成都 610031)

【摘 要】 本文阐述了我国滑坡体的发育规律、形成机制以及滑坡稳定性评估,滑坡体一般的发育过程可划分为七个阶段,分析了滑坡不同发育阶段滑坡体的力学特征。同时,对滑坡体防护工程设计进行了深入的阐述,可直接用于滑坡体的治理工程的设计和指导。

【关键词】 滑坡 稳定评估 防护

1 引言

我国公路与铁路沿线大、中、小滑坡达数千处,其中大、中型滑坡达数百多处。绝大部分分布于西南、中南和东南地区,这些地区的滑坡约占全国公路和铁路沿线滑坡总数的 80%。这些滑坡体在公路和铁路沿线分布具有一定规律,在公路和铁路选线时要进行绕避,实在不能绕避,必须对滑坡体进行整治和治理。对滑坡体治理涉及到滑坡稳定性分析与评估以及防护工程设计和施工。本文将对滑坡体稳定性评估及防护工程设计进行阐述。

2 滑坡稳定性分析与评估

滑坡稳定性评估是确定当前滑坡所处的发展阶段,当确定滑坡已发展到接近滑动阶段时,则应开始以防灾为主的动态监测。滑坡稳定性评估是滑坡时间预报的基础。研究滑坡的发生、发展规律,必须区分滑坡体的发育阶段。如能确定滑坡体当前所处的发育阶段,并预计今后的发展趋势,即可及时采取必要的防治措施,以减少危害。

根据多年的实践研究,依据滑坡滑动过程中地表裂缝出现的部位、性质及发育的顺序,滑坡的微地貌特征,岩土结构的变化以及大滑动前的预兆等,一般滑坡的发育过程可划分为七个阶段:

(1)蠕动阶段:系指滑体与滑带尚未分开,滑坡某一部分(常是中部主滑段)处于封闭条件下的软弱带,由于种种原因,抗剪强度降低,产生蠕变变形的阶段。此时,软弱带并未形成连续的剪切面,但由于中部滑体向前移动,引起后部岩土体产生破坏。反映在地表上,滑坡后缘处出现一些不连续的拉张裂缝,呈张开微下错状。滑坡微地貌特征不明显,这一阶段持续时间较长从几年到几十年,这一阶段还不能造成灾害。

(2)挤压阶段:除抗滑段外,滑带已形成,有少量位移,即滑体的中部、后部继续向前移动,致使前端的抗滑部分受挤压,产生破碎面的阶段(没有抗滑段的滑坡无此阶段)。此时,除抗

^① 基金项目:四川省跨世纪杰出青年学术带头人基金项目(2000.1~2002.12)
编号:1999-9-387

滑段外,中、后部软弱带的剪切面已贯通,滑带已形成。在地面上的反映为后缘的拉张裂缝已贯通。并有少量下错;两侧呈现羽毛状裂纹,但未沿裂缝方向错断;滑坡前缘受挤压,斜坡出现裂缝,并有局部坍塌现象。滑坡微地貌特征相继出现。

(3)滑动阶段:全部滑带已形成,整个滑坡沿滑面作缓慢移动的阶段。当抗滑段滑带一旦形成,滑坡的整个滑带即已全部贯通,地面变形加剧,滑体结构松弛,地表纵向平均坡度降低,后缘已经开裂错距增大,后部反倾裂缝逐渐清晰,两侧羽毛状裂纹已被错断,前缘隆起、产生放射状裂缝、并出现小量坍塌。滑坡微地貌特征比较明显。有时,在滑坡出口一带会出现带状分布的泉水和湿地。如滑坡区有树木,则会出现“醉汉林”。

(4)剧烈变形阶段:滑带急剧滑动,滑带不断遭到破坏,即滑坡作加速移动至急剧滑动阶段。此时,滑体结构进一步松弛,地表纵坡更趋平缓。后缘错壁高陡,擦痕鲜明,并出现封闭洼地或滑坡湖。如滑动速度很大,前部可产生气浪,并伴随有声响。当滑坡中前部移动速度有差异时,则纵横裂缝错开并扩大。滑坡前缘一带可能形成垄状堆积。

处于以上两发育阶段的滑坡,其整体稳定性已遭破坏,形成滑坡性自然灾害,对人类和财产造成极大危害。

(5)固结阶段:滑坡停止移动后,滑体逐渐压实,滑带亦因排水而逐渐固结,强度也相应的有所增加。地表裂缝逐渐闭合,斜坡表面台坎变缓而稳定,擦痕渐趋模糊,有的新生了植被。大部滑坡微地貌特征渐不清晰。而且还有其复发性。

(6)暂时稳定阶段:滑体表面已挤压密实,外貌平顺,地表裂缝完全消失或不明显,用仪器观测不出位移现象。

(7)消亡阶段:地表已完全夷平,滑坡外貌完全消失。

3 滑坡防护工程设计计算

3.1 滑坡防护工程设计的极限状态方程

滑坡稳定系数通用极限状态方程:

$$\text{抗滑力} - K_s \cdot \text{下滑力} = \sum_1^n (N_i + c_i l_i) - K_s \cdot \sum_1^n T_i = 0$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i, T_i = W_i \sin \theta_i$$

式中 K_s ——滑坡稳定系数;

i ——计算段的顺序代号,设分为从 1 到 n 段;

N_i ——计算段的法向分力(kN);

T_i ——计算段的切向分力(kN);

W_i ——计算段的滑体重力(kN);

θ_i ——计算段的滑面倾角($^\circ$);

f_i ——计算段滑带土的摩擦系数, $f_i = \tan \varphi_i$, φ_i 为计算段滑带土的内摩擦角($^\circ$);

c_i ——计算段滑带土的内聚力(kPa);

l_i ——计算段滑面的长度(m)。

3.2 滑坡计算断面的确定

滑坡计算断面应根据地质条件和已有的地质界(裂)面来确定。推力计算通常以主滑断面为准,也可根据需要进行与主滑断面平行的几个断面进行。其计算范围,对一般发育完整而且简单滑坡易于确定,在周界范围之内的滑体均应计算。但大型而复杂的滑坡,可能在顺

滑动方向上有几级,在垂直滑动方向上有几个条块,在立面上有几层,这样计算范围便需要具体分析。现就几种主要情况说明如下:(1)单一滑面的滑坡,滑坡推力应计算到最后一条贯通裂缝;(2)滑坡为多级时,当后级前缘盖于前级后缘之上,这说明两级滑坡的滑带多数不是依附于同一个软弱带,而且后级滑坡发生在前级滑坡之后又未推动前级滑坡,故在推力计算时两级分别计算,但计算前级滑坡时,应考虑后级滑坡盖上来的土重。若后级滑坡的前缘被前级滑坡的后缘裂缝切割,则说明前级滑坡是在后级滑坡稳定(或暂时稳定)而后滑动的,因此不计算后级滑坡对前级滑坡的推力;(3)滑坡在立面上有一个以上的滑带时,则应根据需要分别计算推力。

3.3 下滑力的计算

取单位宽度滑坡体的任一块分离体作极限平衡状态下的静力分析,基本力系:(1)滑体自重(W_i),作用于该条块的重心,铅直向下;(2)自上一条块传递来的剩余下滑力(E_{i-1}),作用于分界面的中点,方向平行于第($i-1$)段滑面,指向下滑方向;(3)下一条块产生的支撑力(E_i),作用于分界面的中点,方向平行于本段滑面,指向反滑动方向;(4)滑床的反力(R_i),作用于本段滑面中点,方向垂直滑面向下;(5)滑面的抗滑力(F_i),方向平行于本段滑面而与滑动方向相反,其大小等于 $W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i + C_i L_i$,其中 C_i 及 ϕ_i 为滑动面岩土强度指标;(6)在高烈度地震区,应考虑地震力的作用,根据《铁路工程抗震设计规范》,将作用滑体条块重心处的水平地震力引入计算,其方向指向下滑方,该部位的滑坡推力,其基本计算公式如下:

$$E_i = K_s W_i \sin \alpha_i + \sum_{i-1} [\cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \cdot \tan \phi] - W \cos \alpha \phi_i - C_i L_i$$

$$E = K_w K_w \sin \alpha_i + E_{i-1} \phi_i - W \cos \alpha \phi_i - C_i L_i$$

当滑体条块上有特殊作用力的作用时,应分别加入下滑力和抗滑力内进行计算。若所得某条块的剩余下滑力为负值时,则说明自该条块以上的滑体是稳定的,并考虑其对下一条块的推力为零。

滑坡推力计算的结果是整治滑坡的主要设计依据。因滑坡类型不同,推力计算的假设条件和计算方法各异。我国大量滑坡的滑面为折线形考虑。

3.4 抗力的计算

推力计算所求得的结果,必须用比拟计算求得的抗力上下限来核对,以保证计算结果的准确性。

求得抗力的途径主要有:(1)尚未整体滑动的滑坡,抗滑部分若为较均质的土体时,抗力为被动土压力值;(2)滑动过的滑坡,抗力一般为抗滑段的抗滑力。当条件变化有可能产生新的破裂面时,则应按老滑面和可能出现的新破裂面分别计算,取其小者;(3)建筑物产生变形或破裂时,抗力可按建筑物的变形情况来计算,如滑坡推动了抗滑挡墙,则推力大于挡墙的抗滑力的墙前被动土压力之和;如抗滑挡墙被剪断,则滑坡推力小于挡墙的抗滑力和墙前被动土压力之和,挡墙剪断面以上部分滑体的推力大于被破坏截面的抗剪断力;如抗滑挡墙倾覆,则滑坡的推力力矩大于挡墙的抗倾覆力矩,并进而计算出推力。其他建筑物可按其不同控制条件计算。

通过这些资料的核对,方能保证计算结果的可靠性,在某些情况下,亦可按上述办法求得的数据做为设计依据。

4 滑坡防护工程设计

4.1 地表排水工程

排除滑坡范围内的地表水和防止滑坡外地表水流入滑坡范围内的地表排水工程,对防治各类滑坡都是必要而有效的。地表排水工程包括:(1)环形截水沟;(2)树枝状排水系统。

4.2 地下排水工程

(1)支撑盲沟:盲沟也叫渗沟,其深度为数米至十数米,以支撑山体滑动为其主要作用,可疏于滑坡体,这种工程在铁路沿线滑坡整治中被普遍采用,效果良好;(2)截水盲沟:当滑坡范围外有丰富的深层地下水供给滑带时,为使地下水流入滑坡之前就被拦截引走,常采用截水盲沟。

4.3 抗滑工程

(1)抗滑挡墙:挡土墙是防治滑坡中经常采用的有效措施之一,对小型滑坡可以单独采用。对于大、中型滑坡是作为抗滑桩,排水,减重等综合措施的一部份采用。当抗滑桩与抗滑挡墙或支撑渗沟联合使用时,因抗滑挡墙仅承受部分滑坡所以断面尺寸较小。由于滑坡推力大和作用点较高,因此重力式抗滑挡墙具有胸坡缓,墙高度不大的特点,因滑坡结构复杂,故抗滑桩土墙断面形式很多。抗滑挡墙的施工,最好安排在旱季施工、以保证施工安全;施工时必须分段,跳槽开挖,严禁全面拉槽挖基,因拉槽而造成局部拥滑甚至整体移动的教训是很多的;施工中一般应从滑体两侧向中部进行,以免因中部推力集中,推坏已威挡墙。

(2)抗滑桩自 60 年代中期以来,铁路在治理滑坡中,已较广泛地使用了抗滑桩,取得了良好的经济效益。

抗滑桩的优点和适用条件:桩群位置可灵活选择、可集中设置在滑坡的前缘附近,也可设在滑体的其他部位;可单独使用,也可与其他建筑物联合使用。

4.3.1 抗滑桩的设计

(1)抗滑桩群的平面布置

桩群宜设置在滑坡抗滑部分厚度较薄刚度较大的地带。通常布置成排,桩的长轴方向与滑坡主滑线方向平行:桩排的走向与滑体的滑动方向相垂直成直线形或曲弧形。桩与桩中心距一般采用 5~10m,滑坡主滑线附近的桩间距可取小些,两侧边部分适当加大。桩间距问题目前仍还没得到满意的解决,但可以采用工程地质比拟定方法确定,因滑坡前缘滑至临空面,滑坡两侧失去约束在平面上向滑坡主滑线两侧扩展,此时所产生的平行主滑线的裂缝间距可供确定抗滑桩间距的参考。目前采用桩身截面宽度的 3~5 倍。

(2)桩的锚固深度问题

桩埋入滑面以下稳定地层内的锚固深度,由锚固段地层的强度,滑坡推力大小,桩的相对刚度,桩身截面宽度和桩距等有关。锚固过浅,稳定性较差,锚固太深则施工困难及增加工程造价。为了求得较为合理的锚固深度,必须作许多计算,滑床上、下为均质土的滑坡,滑床上、下桩长接近;滑床下为完整基岩时,滑床上桩长超过锚固段长度。

(3)桩身的截面尺寸的确定

抗滑桩的截面形状,根据施工条件的不同有矩形与圆形两种,目前以人工挖井施工为主!所以多为矩形。其开挖尺寸,应满足最起码的开挖工作面的要求。一般最小宽度不小于 1.5m,如 1.5m×2m、2m×(2.5~3.5)m、2.5m×(3.5~4.5)m、最大甚至达到 4m×7m。

4.3.2 预应力锚索抗滑桩

80 年代以来,在原有抗滑桩基础上又有了新发展,因为前述的一般抗滑桩身长,截面大