

# 西北城建

Northwest Municipal Construction

2018年6月 | 第1期 | 第31卷

主办：中国市政工程西北设计研究院有限公司

兰州市水源地建设工程项目监理五标段—鸟瞰图



2018 第一 期



# 甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司



执行董事兼总经理 全 星

齐全、技术力量雄厚的项目管理、项目代建、监理咨询、招标代理专家队伍。

为了使企业管理更科学、更合理、更适用、更具制度化和规范化，公司通过了 ISO9001 质量管理体系认证、ISO14001 环境管理体系认证与职业健康安全管理体系认证，全面强化了企业的质量管理、经营管理、财务管理和人事管理。

公司所监理的项目获国家、省、市级工程质量奖 45 项。其中：有 1 项工程获国家市政鲁班奖；有 1 项工程获宁夏回族自治区建设工程“西夏杯”优质工程奖；有 1 项工程获上海市“申安杯”优质安装工程奖；有 4 项获省（或市）建委优良样板（或优良）工程称号；有 36 项工程获省、市工程质量奖；有 22 项工程获省、市文明工地奖。公司 2000 年、2002 年、2004 年、2009 年被甘肃省住房和城乡建设厅评为“先进工程监理单位”荣誉称号；2003 年被建设部评为“全国先进监理单位”；2002 年～2007 年、2010 年～2016 年被甘肃省工商行政管理局评为“守合同重信用”单位。

我公司严格监理、监帮结合、热情服务，使工程建设保证质量、保证进度、节省投资，受到业主的好评。

## 甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司 2018.1.26



# 西北城建

Northwest Municipal Construction

1989 年创刊（第 31 卷）

2018 年第 1 期（总第 65 期）

主办：中国市政工程西北设计研究院有限公司

## 编辑委员会(第六届)

主任委员：康旺儒

副主任委员：李自忠 史春海

主 编：章伟民

编 辑：何爱翠

编 委：（以姓氏笔画为序）

丁小江	马小蕾	毛继程	王 斌
王积凯	王鲲鹏	王 峰	王安民
王国斌	王 玮	王海梅	史春海
白生福	米 虹	孙海峰	全 星
初黎明	朱安静	刘开陇	刘剑峰
刘若琪	李自忠	李祖鹏	李 彪
李小刚	李建平	杜延生	杜 俊
陈亨锦	陈 亮	陈海燕	陈海龙
陈志瑞	杨 彬	张 立	张恩祥
张森安	张国利	吴小胜	周国强
周党生	罗 顿	段东山	赵 宏
徐 栋	袁益民	唐振涛	陶明亮
黄 鹄	章伟民	康旺儒	焦新武
彭林贤	程生平	董景盛	蒲北辰
裴照堂	樊锦仁		

封面题字：贾万新

编辑出版：《西北城建》编辑部

电 话：0931-8175846

E — mail：495605322@qq.com

地 址：兰州市定西路 459 号

邮 政 编 码：730000

承 印：兰州艺品文化发展有限公司

0931-8652798

（科技内刊 免费交流）

西北城建

2018 年第 1 期（总第 65 期）

## 目 次 CONTENTS

### 项目管理

项目管理公司要在“全过程咨询+全资质服务”中发挥应有作用  
——项目管理公司转型探讨之一 冶贵贤 /02

建筑废料在黄河冲积平原地区公路项目中的再生利用 王永生 /05

浅析空心板梁架设的监理控制要点 杨恒春 /08

### 工程经济

基于层次分析法的市政工程项目实施阶段成本风险评价 庞伟英 /11

某项目地下车库方案经济比选研究 杨卫军 /15

### 工程结构

湿陷性黄土地区城市综合管廊结构设计建议 樊锦仁 /19

钢结构施工详图深化设计管理心得浅谈 马崇亮 /24

基于汶川地震的强余震统计衰减规律研究 赵 龙 /27

无粘结预应力技术在圆形水池中的应用 路洪波 杨晨光 张 磊 /31

论钢筋混凝土结构基于耐久性的可靠度设计方法 郭 瑾 /35

### 电气自控

浅谈污水处理厂 AVS 精确曝气自动控制系统 王 茜 /37

电化学保护法防止金属管材腐蚀的运用 刘光耀 /40

光导照明系统在市政工程节能设计中的实际应用 杜 望 尹旭平 谢佳奇 /43

谈低压电力电缆载流量的软件计算 钱中阳 /47

### 暖通工程

浅谈综合管廊中供热管道补偿器、支架的设置 陆朴荣 /54

综合管廊通风系统设计浅析 王 涛 /58

### 园林景观

住宅区园林景观设计浅析 马瑾婕 /62

基于 NDVI 的西北干旱区植被覆盖变化趋势分析 路世雷 /66

### 封面封底（封二封三）

甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司  
公司简介 | 资质证书 | 荣誉证书

### 插页

甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司  
房建工程 | 水厂工程 | 道路工程



## 项目管理公司要在“全过程咨询+全资质服务”中发挥应有作用

### ——项目管理公司转型探讨之一

冶贵贤

（甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司 甘肃 兰州 730000）

国内传统建筑行业在过去 30 多年的发展中逐步形成了建设、勘察、设计、施工、监理等各方责任较为清晰的角色分工和责任体系，然而在当前新常态下原有的界限逐渐消除，开始相互融合和渗透，加上新技术如 BIM 等快速涌现，新模式如 PPP、EPC 等飞速发展，自律性质的资信评价取代资质管理，建筑行业即将迎来新的洗牌和格局。中国市政工程西北设计研究院有限公司依据国家的战略和投资方向，因时而谋，顺势而为，在发展战略中融入“业主意识”和“跨界思维”，提出了“全过程咨询+全资质服务”理念，甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司作为一家监理单位，同时作为中国市政工程西北设计研究院有限公司全资子公司，应以当下转型升级创新发展为契机，发挥自身潜在优势和能力，克服理念和操作上的瓶颈问题，找准定位，积极参与到“全过程咨询+全资质服务”之中。

#### 1 国家发展全过程工程咨询的背景

关于全过程工程咨询，2017 年 2 月至今，国务院办公厅、住建部等政府部门和行业协会发布了推进全过程工程咨询的系列文件；2017 年 2 月，国务院办公厅发布《关于促进建筑业持续健康发展的意见》，在政府发文中首次提出“培育全过程工程咨询”这一新说法；2017 年 5 月，住房城乡建设部发出《关于开展全过程工程咨询试点工作的通知》，选择北京、上海、江苏、福建、湖南、广东、四川 8 省（市）以及中国建筑设计研究院有限公司等 40 家企业开展全过程工程咨询试点；2018 年 3 月，住

房城乡建设部发布《关于推进全过程工程咨询服务发展的指导意见》，结合前期相关省份试点情况的基础上，重点从全过程工程咨询服务企业、市场和人才的培育，服务管理体系的建立、监管制度的建立健全以及诚信体系建设等角度提出全过程工程咨询。

综合以上文件，目前政府和行业对“全过程工程咨询”普遍比较认可的定义为：全过程工程咨询是指业主在项目建设过程中将工程咨询业务整体委托给由一个单位或多个单位组成的联合体，由该企业提供涵盖项目决策阶段和实施阶段的项目建设全过程的专业化工程咨询服务，包括项目策划、可行性研究、环境影响评价、报批报建管理、合约管理、勘察管理、规划设计及优化、工程监理、招标代理、造价控制、验收移交、配合审计等工程咨询服务活动。

中国市政工程西北设计研究院有限公司审时度势，及时提出了“全过程咨询+全资质服务”理念，就是对以上国家文件的积极响应，而甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司作为中国市政工程西北设计研究院有限公司全资子公司，也要紧跟形势绝不能落后。

#### 2 项目管理公司转型加入“全过程咨询+全资质服务”的优势

全过程工程咨询服务是当前和未来一段时间的必然发展趋势，勘察单位、设计单位、监理单位都有可能成为全过程工程咨询服务的提供主体，勘察单位和设计单位发展全过程工程咨询服务的优势在

于可以在项目较早阶段介入，较为熟悉项目业主的建设需求和目标，而项目管理公司作为监理单位加入全过程工程咨询服务的优势在于能较好地控制工程质量和安全，协调工程进度控制。

项目管理公司作为监理单位转型加入全过程工程咨询服务的优势主要体现在以下三方面：

优势一：监理服务见证了工程项目生产实现的大部分过程

监理单位在工程项目的决策立项和前期策划阶段一般参与较少，但服务团队入场后，为了更好地完成工作任务，一般都会主动搜集项目前期阶段的资料，如建设项目选址意见书、工程可行性研究报告、社会稳定风险评估报告、环境影响评价报告书、节能评估报告等，并组织监理服务团队进行消化。

在工程项目施工实施阶段，监理服务包括了报建报批、采购与合约管理、质量监督、投资控制、进度控制、安全文明施工管控等多项工作，在竣工验收和资料归档时也是协助工程建设方的主要力量，而且监理服务团队一般从入场开始常驻项目现场，比勘察、设计、造价等服务团队对工程现场情况更为熟悉和了解。

此外，监理服务合同一般包括一定时长的保修期，对项目的后续运维管理也或多或少有一定的了解。

优势二：监理服务与项目参建各方均有一定的关联，具备协同管理的基础

工程项目的施工阶段是项目实施的关键阶段，受外界环境干扰较大，需要调配的资源较多，组织协调管理较复杂。监理服务团队在项目现场的时间较长，且有时会代表业主与各个不同阶段、提供不同咨询服务的供应商发生关联，涉足投资咨询、市场调研、工程造价、招标代理、绿色建筑、物业运维管理等相关咨询服务领域和相关知识。而其他咨询单位只是某个阶段的服务者，仅专注于自身的服务内容，与业主以外的其它参建单位联系不如监理单位紧密。

优势三：项目管理公司已发展了项目管理等业务，为加入“全过程咨询+全资质服务”奠定了一定基础

随着市场的发展和变化，甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司紧跟市场形势，主动发展工程项目管理等新型业务模式。目前，正在履行的项目管理合同有两个：山东巨单高速（总投资约 80 亿）和南京江北地下空间（总投资约 212 亿），在人才积累和组织配置上初步积累了一些项目管理的宝贵经验，为加入设计院有限公司“全过程咨询+全资质服务”奠定了良好的基础。

#### 3 项目管理公司转型加入“全过程咨询+全资质服务”的策略

项目管理公司作为一家监理单位转型加入“全过程咨询+全资质服务”，首先需要在以下三个层面进行转变：

策略一：从施工监理向前后两端延伸，在咨询服务内容上进行纵向叠加，积累项目全过程化管理的经验

项目管理公司作为一家监理单位，应根据自身基础和条件，审时度势，确定企业向全过程咨询发展的大方向，进一步加强全过程、全方位、多元化的咨询服务能力，在施工监理的基础上，充分利用设计院有限公司的资源，向前延伸到前期策划，向后延伸到缺陷保修阶段，打破历史原因造成的“条块分割”现象，在这个过程中积蓄人才、锻炼队伍，力争在设计院有限公司“全过程咨询+全资质服务”中发挥更大的作用。

策略二：在咨询服务类型上进行横向拓展，通过和设计院有限公司各分院联合做项目管理，积累业绩和经验，积极投入到“全过程咨询+全资质服务”中来

由于历史原因，项目管理公司作为监理公司的业务范围较为狭窄，多集中在工程施工阶段的质量控制和风险防范，较少涉及前期勘察和设计阶段，历史工程业绩中除施工监理以外其他工程阶段的业绩较少，考虑到项目管理公司作为监理公司的现状，我们与设计院有限公司各个分院以联合做项目的形式，用来打开市场，积累业绩和经验，目前山东巨单高速的项目管理业务由项目管理公司和安徽

分院合作；南京江北地下空间项目管理业务由项目管理公司和轨道交通分院合作，在积累一定的工程业绩和经验后，通过和设计院有限公司重组、合作来延伸产业链，补齐人才、资质、资格短板，积极投身到设计院有限公司“全过程咨询+全资质服务”中去。

策略三：加入“全过程咨询+全资质服务”中，项目管理公司要从组织结构上进行裂变和重塑

项目管理公司做为传统的工程监理企业以监理人员为主，在发展全过程工程咨询业务的过程中，进入新的发展阶段，一定要改革组织形式，积极进行组织裂变和组织重塑，以投身于“全过程咨询+全资质服务”之中：原有的监理服务提供者主要包括持证的总监、总监代表、监理工程师和监理员，裂变后可以分为三个条线：

1) 在施工阶段原有监理条线继续提供驻场监理服务；

2) 由设计院有限公司和项目管理公司抽调的项目经理及各个专业的工程师组成的咨询服务条线

贯穿工程全过程，视需要分阶段进场，提供专业咨询服务；

3) 由设计院有限公司的总工和各领域资深专家组成的技术条线在后台为各项目提供技术支撑。

在组织裂变的同时，还需要进行组织重塑，整合三大条线和设计院有限公司、项目管理公司后台技术资源，促进各专业技术人员的融合与交汇，从而锻炼出一大批适合“全过程咨询+全资质服务”的有用人才。

综上所述，项目管理公司作为设计院有限公司“全过程咨询+全资质服务”中的一员存在，是有相对优势的。甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司现有各类国家注册人员 98 人，其中国家注册监理工程师 52 人，国家注册造价工程师 7 人，国家注册一级建造师 6 人，国家注册设备工程师 29 人，国家注册安全工程师 4 人，以上人员基本上都是 30~50 岁的大好年华，年富力强且具有丰富的工程管理经验，相信可以在院里的“全过程咨询+全资质服务”中，发挥自己应有的作用。

（上接第 30 页）

参考文献：

[1] 喻焜，李小军．基于 NGA 模型的汶川地震区地震动衰减关系 [J]．岩土工程学报，2012，34(3)：552-558.

[2] 兰晓雯．基于汶川地震动衰减特征的四川长周期地震动反应谱研究 [D]．北京：中国地质大学（北京），2013.

[3] 张齐．地震动衰减关系的区域性差异研究 [D]．哈尔滨：中国地震局工程力学研究所，2016.

[4] 边冠博．汶川地震的主余震统计特性及其对结构反应的影响 [D]．大连：大连理工大学，2012.

[5] 卢大伟，李小军，崔建文．汶川中强余震地震动峰值衰减关系 [J]．应用基础与工程科学学报，2010(s1)：138-151.

[6] 刘浪．汶川地震地震动衰减特性分析 [D]．哈尔滨：

中国地震局工程力学研究所，2010.

[7] 王海江．中小地震地震动衰减关系的研究 [D]．北京：中国地震局地球物理研究所，2002.

[8] Shcherbakov R, Nguyen M, Quigley M. Statistical analysis of the 2010 MW 7.1 Darfield Earthquake aftershock sequence [J]. New Zealand journal of geology and geophysics, 2012, 55(3)：305-311.

[9] Kanai K, Yoshizawa S, Suzuki T. An Empirical Formula for the Spectrum of Strong Earthquake Motions II [J]. 东京大学地震研究所汇报，1963, 41:261-270.

[10] McGuire R K. Seismic Ground Motion Parameter Relations [J]. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 1978, 104(4)：481-490.

建筑废料在黄河冲积平原地区公路项目中的再生利用

王永生

（甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司 甘肃 兰州 730000）

摘要：2015 年 1 月 1 日国家新环保法实施以来，国家环保治理力度不断加大，环保执法高压态势给工程建设领域提出了要求。工程建设领域本着“绿色环保”理念，积极响应国家的环保政策。平原地区公路工程项目历来存在大量的软基路段，传统处理方法为浅层软土路基换填风化岩、石灰土改良等方法，在全国大范围地区“封山育林”环境下，形成无料源可用的局面；同时随着我国经济飞速发展，城市改扩建形成的大量建筑拆迁废料无处利用，也给环境保护造成新的压力。本文以在建的国家高速德上线巨野至单县（鲁皖界）段高速公路项目为例，研究在国家新环保政策下，将建筑废料用于公路建设项目的办法。

关键词：建筑废料；环保；软基处理；再生利用

1 项目背景介绍

由葛洲坝集团股份有限公司投资在建的国家高速德上线巨野至单县（鲁皖界）段高速公路项目位于山东省菏泽市境内巨野县、成武县、单县。主线总长 116.202km，路基宽度为 27m，双向四车道高速公路标准。路线所经区域属于黄泛平原，地势平坦、开阔，起伏高低差较小，海拔一般在 40 ~ 45m 左右，由于黄河多次决口、改道和沉积，地表形成一系列高差不大的河道高地与河间洼地，彼此重迭，纵横交错。区内微地貌形态主要有河滩高地、垄岗高地、决口扇形地、缓平坡地、碟形洼地、河槽地、背河槽状洼地等。根据项目地堪资料，项目沿线地层岩性主要为第四系的粉土、粉质粘土、粉砂等组成。工程区内地下水丰富，且浅层地下水分布范围广，地下水埋深 1 ~ 7m 左右。线路区的软土零星分布，但分布范围广，全线范围内平均每公里路段涉及 2 ~ 3 处面积不等的软土区域，主要为人工鱼塘、沟及河流内地表水淤积，总长度约 6000m，沟渠内表层的粉质粘土、粉土受水长期浸泡，呈饱和状态，含水率较大，呈流塑状；

水塘及河流内软土以淤泥质粉质粘土、淤泥质粉土为主，多为表层分布，一般埋深小于 2.0m，厚度一般为 0.5 ~ 1.6m。设计建议软土、过塘路段采用疏干、换填处理；液化土特殊路基采用冲击碾压做填前处理。

2 项目存在的问题及拟采取的技术措施

项目于 2017 年 12 月份开工，2018 年 9 月份，全线五个施工标段陆续进入路基填方施工阶段。由于项目所处地区地下水位高，地表土壤含水率高（20% 左右），土质松软，根据《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1-2017）规定，填方段填前压实度要大于 90%，每个标段各选了 200m 左右路基试验段，经试验段施工，填前压实阶段，该地质条件极易造成地下水毛细上渗，含水率饱和，形成原地面翻浆、弹簧；液化土冲击碾压路段经试验段施工也存在同样问题。经与设计单位沟通，建议原地面完成清表后，填筑 30 ~ 50cm 硬性透水材料后，再经冲击碾压，达到压实标准后，再填筑以上的路基。同时，线路经过的软土、过塘路段设



计单位也建议换填硬性透水材料（山皮石、风化岩等）处理。

经项目公司、施工单位调查，就近 100km 内济宁市嘉祥县、梁山县等地，由于响应国家环保、封山育林等政策，就近所有采石厂、石灰厂等都已关停，无料源可用。同时经调查研究，项目临近的巨野、成武、单县由于城区改扩建，存在大量的建筑废料无处处理，给周边环境造成很大影响。经项目公司、施工单位与设计单位进一步洽商，参照以前部份市政工程项目做法，利用建筑废料经破碎再生利用进行处理。因《公路工程质量检验评定标准》及其他公路设计、施工规范对此无相关技术规定，以前公路工程项目也无相关案例，因此，经项目业主、设计、监理、单位各方共同会议研究，建议通过试验段验证方法，确定方案是否可行。

3 试验段施工验证

3.1 试验段目的

根据项目公司、设计代表、总监办、驻地办和总承包部《关于山东巨单高速公路使用建筑废料情况说明的函》设服【2017】便字第 5 号要求，为保证施工质量，控制施工工序，确定工艺参数，确定在 K88+500 ~ K88+600 进行建筑废料试验段。通过试验段施工，确定建筑废料代替硬性透水材料作为原地面处理换填料的可行性。同时分析松铺厚度，碾压遍数与沉降量的关系，为后续建筑废料施工验收提供指导性依据。

3.2 试验段施工

清表后，采用平地机对试验段基底进行整平，采用 22T 压路机进行稳压。测量记录填前压实标高。按图纸设计断面，计算出各桩号左右两侧填筑宽度，并用红漆将该填筑层顶面高程在木桩上标记清楚。为确保填筑建筑废料边坡的压实度，其坡脚桩向外侧加宽 50cm，以保证边坡的压实度和压路机械的行驶安全，用白灰撒出边线作为填筑宽度的明显标记。

按照松铺厚度 50cm，在基底打好的方格网内，按计算方量卸料，将建筑废料中的有机质、生活垃圾、塑料、草皮、树根等软质、膨胀性、腐蚀性、污染性材料清理干净。粒径超过设计要求的楼板、混凝土块等用挖掘机破碎。采用推土机对摊铺好的材料沿线路纵向进行平整，并用水准仪控制材料标高。推土机整平时，人工配合，将非适用材料捡除。

试验段采用沉降差进行压实质量控制，碾压前在 K88+520、K88+540、K88+560、K88+580 共 4 个断面采用 10\*10cm 钢板布置沉降观测点，每个断面布置 6 个点。建筑废料压实试验采用 22T 振动压路机压实，静压 2 遍、弱振 2 遍、强振 2 遍的措施，压实前测量各观测点标高，每压实 2 遍测量所布各点标高，直到满足设计要求的指标，即压实沉降差不大于 5mm，标准差不大于 3mm。



图 1 碾压后效果图

3.3 试验段成果及分析

根据沉降量观测数据，第 2、4、6、8 遍碾压后沉降量结果计算如下：

表 1 沉降量计算表

桩号	位置	沉降量（mm）				备注
		第 2 遍末	第 2 遍末	第 2 遍末	第 2 遍末	
K88+520	左 15m	7	3	-3		
	左 10m	4	0	1		
	左 5m	-1	8	0	0	
	右 5m	0	14	0	1	

	右 10m	6	6	3		
	右 15m	4	4	2		
K88+540	左 15m	5	5	1		
	左 10m	7	1	3		
	左 5m	4	4	1		
	右 5m	3	11	-2		
	右 10m	9	4	6		
	右 15m	4	2	4		
K88+560	左 15m	4	2	0		
	左 10m	6	2	-2		
	左 5m	1	4	3		
	右 5m	4	8	-2		
	右 10m	6	3	4		
	右 15m	4	2	3		
K88+580	左 15m	3	2	0		
	左 10m	7	2	1		
	左 5m	4	1	-1		
	右 5m	2	0	13	1	
	右 10m	18	9	7	0	
	右 15m	6	5	4		
平均沉降差		4.87	4.25	2.94	1.947	
标准差		3.55	3.46	3.08	1.73	

3.4 试验结论

采用 22T 压路机碾压，静压 2 遍，弱振 2 遍，强振 2 遍后，除去个别点位，均小于 5mm，经对数据进行整理汇总，剔除沉降差负值，标准差不符合要求。对该部位继续强振 2 遍，沉降差符合要求。经对数据进行整理汇总，剔除沉降差负值，计算平均沉降差 1.947mm，标准差 1.73mm，达到设计要求。根据试验数据总结，碾压遍数不少于 8 遍，能够达到硬性透水材料换填路基的设计要求和技术指标。

3.5 施工注意事项

为保证建筑废料填筑的均匀性，要采用挖掘机将超出设计和规范要求粒径的楼板、混凝土块等非适用材料破碎。

为减少路基不均匀沉降，建筑废料填筑过程中，要将建筑废料中的杂物清理干净。

为保证建筑废料填筑的平整度，保证压实效果，推土机粗平后，要采用挖掘机细平达到要求的平整度后再进行碾压。

4 结束语

通过试验段施工验证，建筑废料通过适当破碎，合理的施工技术措施，能够达到路基硬性透水材料（风化岩类）回填技术指标和质量要求，满足项目软土地基处理、原地面填前碾压设计及规范要求。通过全线推广、目前项目全线路基施工已完成过半，经施工过程沉降观测，未出现质量问题，项目也取得了良好经济效果。同时，项目所处同地区同时在建的枣荷高速公路（山东菏泽至鱼台段）项目也借鉴了本项目做法，取得了良好效果。在国家新环保政策下，通过改变传统筑路工艺、材料的做法，是我们建设者应该探索的新思路，也建议行业主管部门对此制定相应的技术、质量标准，满足新形势下工程建设需要。

参考文献：

- [1] JTG F10-2006，公路路基施工技术规范 [S]．北京：人民交通出版社，2006
- [2] JTG E60-2008，公路路基路面现场测试规程 [S]．北京：人民交通出版社，2008
- [3] JTG F80/1-2017，公路工程质量检验评定标准 [S]．北京：人民交通出版社，2017
- [4] 设服【2017】便字第 5 号，关于山东巨单高速公路使用建筑废料情况说明的函 [Z]．山东：中交第一公路勘察设计院有限公司，2017

浅析空心板梁架设的监理控制要点

杨恒春

（甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司 甘肃 兰州 730000）

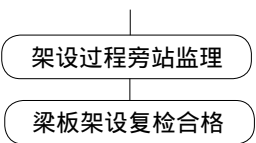
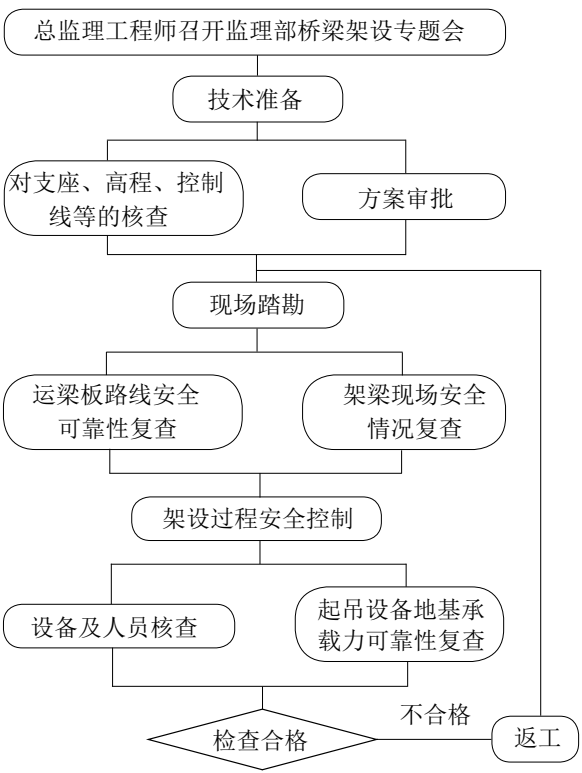
摘 要：本文详细阐述了空心板梁架设的各项安全质量监理工作、施工方案的审核比选、监理控制要点等注意事项以及施工后的检验工作。

关键词：空心板梁 架设 监理控制要点

1 工程概况

那内河中桥属于海口美安科技新城基础设施 B 区项目，项目地处海口市秀英区石山镇境内，那内河中桥位于海口美安科技新城美安大道 K7+211.355 处，桥型布置为 3-16m 简支桥面连续空心板，桥长 53m。单幅单跨 21 片空心板，全桥共计梁板 126 片，板高 0.8m，空心板预制宽度 1.24m。

2 项目监理部组织及安全控制环节



3 项目监理部梁板架设前的安全质量控制措施

3.1 技术质量方面

（1）组织监理人员熟悉掌握有关施工图纸、设计变更、施工规范、设计要求、吊装方案有关技术资料，核对空心板的空位就位尺寸和相互的关系，掌握空心板的型号、数量、几何尺寸、重量及空心板与支座间的连接方法。

（2）要求测量人员认真细致地审阅施工设计图纸，复核支座控制线及高程。

（3）要求施工单位编制方案和架设的安全技术交底。

（4）见证员要进行各种原材料的取样试验工作。

（5）专业监理负责检查混凝土的强度，支座垫石砼的强度、支座的质量、预埋件的尺寸、标高、平面位置应符合设计及规范的要求，并要求施工单位技术人员于其上画上安装轴线及预制梁轮廓线，清点空心板的型号、数量。按设计和规范的要求认真复核轴线、水平标高。

（6）监理人员到现场检查作业的机具安全可靠，确保作业能安全顺利地进行，并要求施工单位对参与作业的人员进行安全技术的交底工作；同时要对现场的用电、交通等情况做好检查与部署，确保施工的安全顺利进行。

（7）施工前掌握吊装场地范围内的地面、地下、高空的环境情况，同时要求对场地进行清理、填平压实。

3.2 设备方面

根据现场场地情况，拟定配置施工设备如下：

- （1）50t、80t 汽车吊各 1 台；
- （2）运梁拖车 2 台；
- （3）梁场龙门吊 2 台；
- （4）履带挖掘机 1 台。

3.3 运输路线及架设场地安全措施

空心板架设前监理人员确定好运梁路线及架梁场地的顺畅和平整，安排对路线上的障碍物进行清理，对路线及场地内的泥泞、翻浆处用片石进行换填处理，对陡坡、急弯、松软现象进行施工前修缮、处治，确保运输和吊装作业时路线及场地通畅。

4 空心板梁架设监理的重点与难点——施工方案比选及审批

根据现场场地内的地形地貌、地层结构以及水文地质条件，总承包部拟定了两套空心板架设施工方案：

方案一：先占用 1# 和 3# 孔内便道架设 2# 孔空心板；再占用台背及 1# 和 3# 孔内便道，分别架设 1# 和 3# 孔空心板；

方案二：先占用台背及 1# 和 3# 孔内便道，分别架设 1# 和 3# 孔空心板；然后立即开展完成 1# 和 3# 孔桥面铺装后；再占用 1# 和 3# 孔桥面铺装架设 2# 孔空心板。

4.1 监理部重点对空心板架设施工方案比选审批

（1）比选角度

1) 场地要求：对各桥孔下的场地要求非常高，

尤其是第 2# 孔（河道），要保证 1 台吊车及运梁车站位在 2# 孔，故要对其进行换填硬化的工程量比较。

2) 施工质量：选择合适的汽车吊完全满足吊装施工质量要求。

3) 风险安全：安全风险主要来源于汽车吊选择和场地承载力是否满足站位和运输要求，汽车吊伸出臂长及回转半径。选择安全系数较高的方案。

4) 工期进度：选择架设不存在间歇期，要求连续施工。

5) 经济效益：由于架设梁板对场地要求非常高，尤其是 2# 孔河道经常容易泡水甚至积水，且施工现场地处雨季地区，对架梁施工影响较大，容易造成场地承载力不足，场地需整平和维护，比较费用的高低。

（2）综合评价：从上述各角度出发和考虑，确定方案一进行梁板的架设施工。

4.2 吊装工况验算

根据 50t 和 80t 汽车吊起重性能表，在最大回转半径（幅度）7m，支腿全伸时，该工况的最大额定吊装负荷均大于安全吊装桥板的全重，梁板架作业在安全范围内，符合吊装规范及要求。

5 梁板架设监理过程的安全质量控制措施梁板架设的重点

5.1 安全质量控制措施

（1）监理人员检查汽车吊司机、起重工操作证有效；

（2）安排三名经验丰富起重工工长，阵前担当起重指挥员，从技术、管理和经验上，加强架梁的安全质量保障性；

（3）核实施工方设备在施工前进行检修和保养，并预备备用施工设备，保证施工持续性；

（4）要求项目部组织所有管理人员和施工作业人员施工前进行技术安全交底；

（5）监理检查运梁路线和架梁场地的平整维



护工作提前完成，并在墩台上提前做好放线测量复测工作，保证施工质量和进度；

（6）督促施工方制定详细的施工计划实施方案及预案，以便应对现场实际情况及突发情况。

（7）总监、项目经理一线靠前指挥，监控梁板架设安全可靠。

（8）在上梁、运梁和架梁过程中均有监理人员检查，负责质量和安全；

5.2 梁板架设过程中出现的问题及采取的措施

由于项目所处地区夏秋季节多雨。首片空心板架设过程中，遇到了不小困难，正是由于 9 月 20-22 日持续性暴雨，2# 孔河道场地受到雨水侵蚀，河道场地内虽铺设一定厚度的片石压实处理，但下卧层地层结构主要为粉质粘土、强风化凝灰岩、强风化玄武岩，粉质粘土遇水产生翻浆现象，强风化凝灰岩和强风化玄武岩遇水产生软化崩解现象，导致地基产生沉降，地基承载力严重下降，汽车吊和运梁车无法全部顺畅通行至河道预定场地内。

鉴于上述原因，结合施工现场的实际情况，决定调整吊车和运梁车的站位，保证吊车支腿安全可

靠，采用方案一进行相关施工。在保证安全前提下保质保量完成梁板架设。

6 施工完成后及时复检

架设施工完成后，及时复检各片空心板架设位置是否与施工前放线位置一致，是否存在支座脱空、变形、移位情况等，如若有上述不良情况，将要求施工方进行吊装微调，现场监理工程师监督指导，保证架梁施工质量。

7 结束语

那内河中桥空心板架设，克服了雨季施工影响，保证了梁板架设的安全质量，总体上顺利圆满完成。圆满完成主要得益于架设开展前准备充分、架设过程中控制严格、施工完成后复检及时三个阶段的控制和管理。

参考文献：

[1] 《城市桥梁工程施工与质量验收规范》(CJJ2-2008)  
[2] 《道路桥梁工程施工手册》（天津市政工程局主编）

（上接第 36 页）

最后，总结出了研究混凝土框架的施工可靠度措施，并分析了荷载累积损伤的基本形式，希望以此确保钢筋混凝土工程的可靠性与稳定性。

参考文献：

[1] 钟小平，金伟良．钢筋混凝土结构基于耐久性的可设计方法[J]．土木工程学报，2016  
[2] 解会兵，王元丰，杨小元，刘明辉．气候变化对 RC 结构

碳化侵蚀可靠度的影响[J]．北京交通大学学报，2015  
[3] 姚继涛，谷慧，张义九，程凯凯．混凝土结构碳化耐久性的概率设计表达式[J]．西安建筑科技大学学报（自然科学版），2015  
[4] 赵万强，宋玉香，赵东平，路军富．铁路隧道钢筋混凝土衬砌结构可靠度分析[J]．铁道工程学报，2015  
[5] 王甲春，阎培渝．海洋环境下钢筋混凝土中钢筋锈蚀的概率[J]．吉林大学学报（工学版），2014

基于层次分析法的市政工程项目实施阶段成本风险评价

庞伟英

（中国市政工程西北市政设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000）

摘 要：市政工程项目成本得到有效管理，关系到一个市政工程项目建设能否取得相应的经济社会效益，而市政工程项目成本管理则是市政工程实施阶段成本管理的中中之重。将影响市政工程项目成本的各种风险因素作为研究目标，把相关指标进行归类探讨，然后构建风险评价体系，并运用层次分析法（AHP）计算出各个指标的权重值，从而判断对市政工程项目实施阶段成本影响最大的风险因素，为今后在市政工程项目实施阶段成本管理有效地规避和防范风险，从而保障在市政工程建设过程中投资成本得到有效控制提供参考。

关键词：市政工程项目成本；风险评价；层次分析法

市政工程项目成本管理是一个完整市政工程项目不可或缺的组成部分，以正在建设的整个市政工程项目作为目标，宗旨是使工程企业在激烈的市场竞争中占据优势，力争取得最大的经济社会效益。然而，由于市政工程项目建设涉及政府部门、业主、监理单位以及施工单位等各方的利益，因此不同参与方在合作的过程中也必然有着利益上的分歧，从而使得市政工程项目管理工作变得异常复杂。因此，一个市政工程项目进行施工生产时，每一个环节的失误、每一个参与方的不当行为都会导致出现决算超预算、预算超概算、概算超估算的“三超”现象<sup>[1]</sup>，使市政工程项目实际总成本超过其在建设期内为保证目标利润的实现而设定的预计成本（目标成本），从而造成整体成本增加，即工程项目成本风险。由于近些年我国的城市人口激增，在市政工程的项目实施阶段完善相关成本风险管理对市政项目有巨大的意义。就整个工程项目的承包商而言，改变了传统承包商只关注短期的利益而忽略了长期的经济利益的不足，严格的规定了整个承包商在施工过程中的我行我素，使整个项目达到合格的水平。并且不仅为了使工程项目的施工的质量得到保证，

而且为了节约社会资源，减少成本，相关的承包商就会大量的引进先进的科学技术，以完善自己的业务水平，增加了承包商个人的责任感。对相关的就业单位而言，对市政工程项目成本风险进行重视，就加强了对于相关成本风险方面人才的需求，大量的人才需求，缓解了就业市场中的人才压力的情况，也大大的提高了整个成本风险监测当中的专业度，减少了风险的程度。另外，完善市政工程项目实施阶段成本的风险管理，与社会中的生产生活都息息相关，影响到了整个社会中国民的切身利益。市政工程项目成本风险管理作为市政工程项目成本管理的主体，其要点是首先识别出影响市政工程项目成本的风险因素有哪些，再进行具体分析评价，然后确定具体的规避措施。本文首先进行市政工程项目成本风险因素的识别，然后采用层次分析法计算各个风险指标权重，从而判断对市政工程项目成本影响最大的风险因素，以期对更好地完成成本管理工作提供参考。

1 市政工程项目成本风险层次模型评价指标体系

1.1 市政工程项目成本风险因素的识别

市政工程项目成本风险的识别是一项系统的工作,充分考虑市政工程项目成本风险评价指标,对成本管理有着重要的作用,这样在市政工程施工建设的过程中能够调动各方的积极性,从而取得利益最大化。首先通过科学的方法确定出影响市政工程项目成本目标能否实现的潜在风险有哪些,进行分类整理,并确定其存在的可能性,再确定各种影响市政工程成本风险的指标因素,并确定其发生的可能性,最后定性评价这些风险给市政工程项目成本管理可能产生的结果以及影响程度。市政工程项目施工管理任务复杂,工程建设过程是一次性的,并且管理过程有专门的机构,通过考虑这些因素并认真分析以往市政工程项目实例在成本管理中出现的问 题,确定引起这些问题的原因,分析整合得到市政工程项目具体的风险清单,再运用德尔菲法对风险清单进行优化筛选,并对以往文献进行研究<sup>[2]~[4]</sup>,最终确定出市政工程项目成本风险的风险源以及风险影响指标。市政工程项目成本风险可按照其风险来源分为以下 4 大类,而这 4 类风险对应着各自相应的二级风险指标。

- (1) 自然风险。自然力的变化是无法人为控制的,如地质水文条件的不确定性,气候条件的变化以及发生自然灾害,都会导致对市政工程项目成本管理造成危害。
- (2) 技术风险。由于设计施工技术上的原因而引起工程项目成本变化的风险。主要包括地质勘察失误、设计质量不高或设计变更、施工组织设计不合格和技术结构复杂等。
- (3) 管理风险。主要体现在施工管理制度不健全和管理人员管理能力差两方面上,从而会使市政工程项目在成本管理方面蒙受损失。
- (4) 经济风险。在建设工程项目寿命期内,可能会遭遇如物价动荡不定、通货膨胀幅度较大、资金筹措困难等情况,这些因素都会加大市政工程

项目成本风险。

1.2 市政工程项目成本风险评价指标体系构建

市政工程项目成本风险体系建立在风险清单的基础之上,它是一个多种因素相互影响、多个层次相互联系、多个准则相互支配的复杂系统,在评价指标体系构建的过程中,应遵循严整有序、层次分明、科学合理、操作简单的评价原则,在对市政工程项目成本风险因素的识别的基础上,再结合专家调查法,最终确定市政工程项目成本风险分析层次模型评价指标体系如图 1 所示。

第一层为目标层,第二层为风险的来源,即可能导致市政工程项目成本超支的风险源,第三层又包含 12 个指标因素。这些指标因素充分考虑了其重要性及涵盖性,挑选出相对影响风险水平较大的指标,尽量减少指标之间的相互重叠,全面的考虑影响市政工程项目成本管理的各种风险因素。

2 各级评价指标权重的确定

在市政工程项目成本风险的评价层次结构模型中,采用层次分析法(AHP)<sup>[5]</sup>计算各级指标的权重值。邀请相关专家具体分析市政工程项目成本风险评价指标体系中风险因素的内容和它们之间相互关系,通过专家打分比较每个因素相互之间的优劣,并建立相关的风险评价的指标向量集。首先定义准则层因素集 $X=(X_1,X_2,X_3,X_4)$ ,然后再定义指标层评价集 $X_i=(X_{i1},X_{i2},\dots,X_{i,j-1},X_{ij})$ 。其次构造出各风险因素的判断矩阵,运用 Matlab 软件,确定准则层的各个风险源的权重值和指标层所有指标的权重值。最后采用特征向量法对所求的每个矩阵进行一致性检验,如果一致性检验指标 $CI/RI<0.10$ ,即可认为构造矩阵符合一致性的要求,如果不满足该条件,则应重新打分计算权重,以保证所求得数据准确可靠。<sup>[6]</sup>

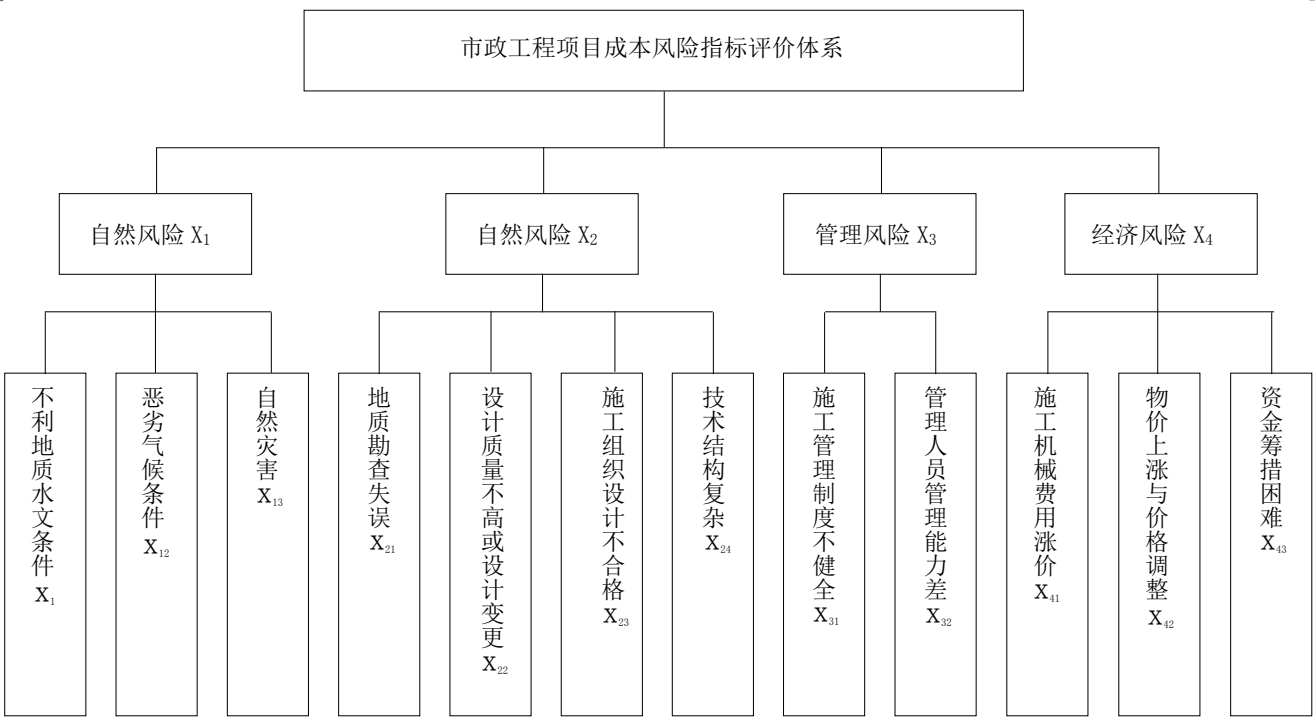


图 1 市政工程项目成本风险指标评价体系

2.1 准则层指标权重的确定

在市政工程项目成本风险体系中准则层包括自然风险、技术风险、管理风险和经济风险四个指标因素,则由专家进行评分,然后建立判断矩阵 $X=(X_{ij})4\times4$ ,如表 1 所示。通过 Matlab 软件计算相应的特征向量,从而得出各个指标权重,并进行一致性检验。

表 1 准则层各指标的判断矩阵及权重						
指标项	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	权重	一致性检验
X <sub>1</sub>	1	1/3	4	2	0.26	0.044 < 0.10 符合要求
X <sub>2</sub>	3	1	4	3	0.49	
X <sub>3</sub>	1/4	1/4	1	1/2	0.10	
X <sub>4</sub>	1/2	1/3	2	1	0.15	

2.2 指标层对准则层的权重确定

每个准则层对应着各自的不同数量的指标层,与计算准则层权重和检验一致性的方法一样,构造出每个指标层的判断矩阵并计算出指标体系的权重,并进行一致性检验。所得结果如表 2—表 5 所示。

表 2 指标层关于 X <sub>1</sub> 的判断矩阵					
	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	权重	一致性检验
X <sub>11</sub>	1	2	1/4	0.22	0.063 < 0.10 符合要求
X <sub>22</sub>	1/2	1	1/3	0.16	
X <sub>33</sub>	4	3	1	0.62	

表 3 指标层关于 X <sub>2</sub> 的判断矩阵						
指标项	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>24</sub>	权重	一致性检验
X <sub>21</sub>	1	1/4	1/3	5	0.16	0.085 < 0.10 符合要求
X <sub>22</sub>	4	1	2	6	0.49	
X <sub>23</sub>	3	1/2	1	4	0.29	
X <sub>24</sub>	1/5	1/6	1/4	1	0.06	

表 4 指标层关于 X <sub>3</sub> 的判断矩阵				
	X <sub>31</sub>	X <sub>32</sub>	权重	一致性检验
X <sub>31</sub>	1	1/4	0.20	0.063 < 0.10 符合要求
X <sub>32</sub>	4	1	0.80	



表 5 指标层关于 X <sub>4</sub> 的判断矩阵					
	X <sub>41</sub>	X <sub>42</sub>	X <sub>43</sub>	权重	一致性检验
X <sub>41</sub>	1	2	4	0.56	0.011 < 0.10 符合要求
X <sub>42</sub>	1/2	1	3	0.32	
X <sub>43</sub>	1/4	1/3	1	0.12	

在表 1—表 5 的基础上，计算市政工程项目成本风险 AHP 模型风险指标的综合权重，从而确定各个风险指标因素的重要程度，如表 6 所示。

表 6 AHP 模型风险指标综合权重					
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	综合权重 W <sub>i</sub>
	0.26	0.49	0.1	0.15	
X <sub>11</sub>	0.16				0.04
X <sub>12</sub>	0.49				0.13
X <sub>13</sub>	0.29				0.08
X <sub>21</sub>	0.06				0.02
X <sub>22</sub>		0.22			0.11
X <sub>23</sub>		0.16			0.08
X <sub>24</sub>		0.62			0.30
X <sub>31</sub>			0.2		0.02
X <sub>32</sub>			0.8		0.08
X <sub>41</sub>				0.56	0.08
X <sub>42</sub>				0.32	0.05
X <sub>43</sub>				0.12	0.02

4.5 评价结果分析

市政工程项目风险指标权重的大小反映了指标对工程项目成本管理的重要性，通过评价模型的分析结果表 6 可知，风险指标中技术结构复杂权重最大，恶劣气候条件、设计质量不高或设计变更等指标的权重依次减小，因此，在市政工程项目的成本管理过程中，应高度重视市政工程项目的结构复杂

性、项目施工条件以及项目设计质量；应注重施工机械费用涨价、管理人员管理水平、地质水文条件；应注意地质勘查、施工管理制度、气候条件和自然灾害。为了有效地控制工程造价，要充分发挥各自的优势，充分调动和发挥人的潜力，提高员工的成本控制意识，从而提高风险防范能力。

5 结语

市政项目的投资成本的能否得到有效控制，与工程项目能否取得良好的经济效益和社会效益直接相关。在本文研究中，主要针对市政工程项目成本管理的风险作了一般性的理论分析。在分析市政工程成本管理风险源及其影响因素的基础上，建立了相应的层次分析模型，对市政工程项目成本管理的风险指标体系进行了较为系统的定量分析。在方法应用上，层次分析法层次分明、操作简单，从总体上看，用层次分析法分析评估市政工程项目成本管理的风险具有实际意义，得出的结果可以较客观地反应成本管理过程中的实际情况。

参考文献：

[1] 任 宏. 建设工程项目成本计划与控制 [M]. 北京：高等教育出版社，2004.

[2] 郭继秋，唐慧哲. 工程项目成本管理 [M]. 北京：中国电力出版社，2011.

[3] 陈起俊. 工程项目风险分析与管理 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2007

[4] 刘慧霞. 市政工程项目风险评估与施工安全成本分析 [D]. 上海：同济大学，2006.

[5] 黄跃林，李 银. 层次分析法在工程项目风险管理中的应用 [J] . 黑龙江交通科技，2013（4）：178-181.

[6] 李惠玲，李 军，钟 钦. 基于灰色聚类法的绿色施工评价 [J]. 工程管理学报，2012，26（2）：18-22.

某项目地下车库方案经济比选研究

杨卫军

（中国市政工程西北市政设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000）

摘 要：运用互斥型方案经济比选方法中增量投资收益率法和差额投资内部收益率法对某项目地下车库两种方案进行了经济比选研究。研究表明：差额投资内部收益率法考虑的数据比较全面，计算结果更合理可信，因此，互斥型方案比选时，应该优先选用动态分析方法；其次，互斥方案比选时，其基准投资收益率的选取尤为重要，首先应根据开发商的资金实力或战略，研究确定合理的基准投资收益率，然后再进行经济比选计算。

关键词：经济比选；投资方案；地下车库

1 引言

随着家用小汽车的数量日益增多，为满足业主停车需求，目前新建小区内基本都要配建大型地下车库。近年来，机械停车设备使用日益增多，某小区地下车库采用一层机械车库还是采用多层地下自走式车库，建设单位需要从经济角度比选，即对方案进行经济比选。

2 项目方案概况

为了满足业主的停车需求，某小区拟配建大型地下车库，经建设单位综合考虑，有以下两种设计方案可以选择，建设单位要从经济角度优选其中一种方案。

方案一概况：

方案一拟建地下一层结构，其中配备 2 层升降横移类机械停车设备，地下室总建筑面积 25200m<sup>2</sup>，总车位数 618 个，其中机械车位 494 个，总开挖深度 8.55m。

方案二概况：

方案二拟建地下两层结构，为自走式普通车库，地下室总建筑面积 45440m<sup>2</sup>，总车位数 728 个，总开挖深度 12.3m。

3 方案所属类型及其比选方法

3.1 方案类型

依据互斥型方案的定义，该案例两方案属于互斥型方案，选择其中任何一个方案，则另一个方案必然被放弃。

3.2 经济比选方法

依据参考文献，互斥型方案的比选包括两个部分内容：一是考察各个方案的自身的经济效果，即绝对效果检验；二是考察哪个方案较优，即相对效果检验。本案例两方案绝对效果均满足，因为建设单位不会低于建设成本销售车位，因此主要考虑相对效果检验。

目前国内外常用的互斥型方案比选方法有两类：考虑资金时间价值的动态分析法；不考虑资金时间价值的静态分析法。

静态分析法主要包括：增量投资收益率法、增量投资回收期法、年折算费用法 / 综合总费用法；动态分析法主要包括：净现值比较法、净年值比较法、差额投资内部收益率法、费用年值比较法、最低价格比较法、效益 / 费用比较法、净现值率比较法。

为了计算简便起见，本案例静态分析法中选用增量投资收益率法，动态分析法中选用差额投资内部收益率法，其中评价准则中基准投资收益率按目



前银行中长期贷款利率 5% 计算。

1) 增量投资收益率法计算公式及评判准则

增量投资收益率是指增量投资所带来的经营成本  
的节约额与增量投资之比。其计算公式如公式  
所示：

$$R_{2-1}=\frac{C_1-C_2}{I_2-I_1\pm\Delta k}\times100\%$$

式中：R<sub>2-1</sub>——增量投资收益率；

I<sub>1</sub>——投资额小的方案(设为方案1)的投资额；

I<sub>2</sub>——投资额大的方案(设为方案2)的投资额；

C<sub>1</sub>——方案 1 的经营成本；

C<sub>2</sub>——方案 2 的经营成本；

k——某一方案提前投入使用的投资补偿额，  
当方案1提前使用时,取+ k;当方案2提前使用时，  
取 - k；当两个对比方案同时投入时取 0。

评判准则：将计算出来的增量投资收益率与基  
准投资收益率进行比较，若增量投资收益率大于基  
准投资收益率，则投资大的方案为优选方案；反之，  
投资小的方案为优选方案。

应注意，上式中若对比方案的产出量不同时，  
则先要将产出量同化处理，然后再计算增量投资收  
益率。

2) 差额投资内部收益率法计算公式及评判准则

差额投资内部收益率是相比较的两个方案的各  
年净现金流量差额的现值之和等于零时的折现率，

其计算公式见公式 、：

$$\sum_{t=1}^n\left[\left(CI-CO\right)_2-\left(CI-CO\right)_1\right]_t\left(1+\Delta FIRR\right)^{-t}=0$$

或

$$\sum_{t=1}^n\left[\left(B-C\right)_2-\left(B-C\right)_1\right]_t\left(1+\Delta EIRR\right)^{-t}=0$$

式中：(CI-CO)<sub>2</sub>——投资大的方案年净现金流量；

(CI-CO)<sub>1</sub>——投资小的方案年净现金流量；

(B-C)<sub>2</sub>——投资大的方案年净效益流量；

(B-C)<sub>1</sub>——投资小的方案年净效益流量；

FIRR——差额投资财务内部收益率；

EIRR——差额投资经济内部收益率；

评价准则：将计算出来的差额投资财务内部  
收益率 FIRR 与基准投资收益率（ic）进行比  
较，或者将计算出来的差额投资经济内部收益率  
EIRR 与社会折现率（is）进行比较，当 FIRR（或  
EIRR）大于或等于 ic（或 is）时，以投资大的方  
案为优，反之，以投资小的方案为优。

4 车库方案经济比选

4.1 方案投资、年收入及经营成本核算

1) 方案投资估算

方案一投资估算：

依据方案一各专业方案设计图纸及提供设备条  
件，根据类似项目工程费用指标及设备厂商提供设  
备价格，对方案一工程费用估算如下：

表 1 方案一地下车库工程费用估算表

序号	工程和费用名称	合 计（万元）	技术经济指标（元）		
			单位	数量	指标
	方案一地下车库造价（I <sub>1</sub> ）	10075.90	m <sup>2</sup>	25200.00	3998.37
1	地下车库土建工程	5933.58	m <sup>2</sup>	25200.00	2354.60
2	地下车库给排水及消防水工程	508.24	m <sup>2</sup>	25200.00	201.68
3	地下车库强弱电工程	459.96	m <sup>2</sup>	25200.00	182.52
4	地下车库通风工程	172.46	m <sup>2</sup>	25200.00	68.44
5	地下车库机械停车设备	1292.04			

	地下锅炉安装工程	267.11			
	基坑支护及降水	1442.51	m <sup>3</sup>	180313.15	80.00

方案二投资估算：

备费，但由于为地下两层结构，建筑面积增加，相

方案二与方案一相比较，主要少了机械停车设

应工程费用也增加。

表 2 方案二地下车库工程费用估算表

序号	工程和费用名称	合 计（万元）	技术经济指标（元）		
			单位	数量	指标
	方案二地下车库造价（I <sub>2</sub> ）	15481.30	m <sup>2</sup>	45440.00	3406.98
1	地下车库土建工程	10905.60	m <sup>2</sup>	45440.00	2400.00
2	支护及降排水	2251.79	m <sup>2</sup>	281473.15	80.00
3	地下车库给排水及消防水工程	916.45	m <sup>2</sup>	45440.00	201.68
4	地下车库强弱电工程	829.39	m <sup>2</sup>	45440.00	182.52
5	地下车库通风工程	310.98	m <sup>3</sup>	45440.00	68.44
6	地下车库机械停车设备（去掉）				
7	地下锅炉安装工程	267.11			

2) 运营期年收入核算

地下车库收入包括一次性销售收入及运营期  
年收入。一次性销售收入原则上不会低于工程建  
设投入的费用，因此为了计算简便期间，方案一  
销售收入为 17 万元 / 车位，方案二一次性销售收  
入为 21 万 / 车位。运营期年收入为按车位每月收  
取的停车费，按每月 300 元计算，则方案一每年  
收费收入为 222.48 万元，方案二每年收费收入为  
262.08 万元。

3) 年经营成本核算

依据参考文献《智能机械车库建设及经营效益  
分析》，结合本项目情况，方案一年经营成本按 0.26  
万 / 车位，则方案一年总经营成本为 160.68 万元；  
方案二年经营成本按 0.12 万 / 车位，方案二年总经  
营成本为 87.36。

4.2 静态分析法比选

为了计算分析简便起见，本案例选择增量投资  
收益率法比选。由于两方案的产出量（车位数量）  
不同，运用该方法需要先做产出量同化处理，然后  
计算增量投资收益率。

依据前文分析得出的数据，C<sub>1</sub>=160.68，C<sub>2</sub>=87.36，  
Q<sub>1</sub>=618，Q<sub>2</sub>=728，I<sub>1</sub>=10075.90，I<sub>2</sub>=15481.30。

则增量投资收益率=（C<sub>1</sub> / Q<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> / Q<sub>2</sub>） / （I<sub>2</sub> /  
Q<sub>2</sub>-I<sub>1</sub> /Q<sub>1</sub>）=2.82%，计算结果小于 5%（基准收  
益率）。

4.3 动态分析法比选

动态分析需要分析每个方案的运营期数据，选  
择合理的计算期并取定基准收益率，本项目基准收  
益率按目前银行中长期贷款利率 5%。本项目拟定  
建设期为三年，选择评价运营期为 20 年。假设两  
方案工程建设投资在建设期三年内平均投入，则两  
方案建设期及运营期有关数据如下表所示。



方案	项 目	建设期			运营期			
		第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年	第 n 年	第 23 年
	投 资	3358.63	3358.63	3358.63				
	年营业收入				10728.48	222.48	222.48	222.48
	年经营成本及营业税金和附加				160.68	160.68	160.68	160.68
	年净现金流量				10567.80	61.80	61.80	61.80
	投资	5160.43	5160.43	5160.43				
	年营业收入				15550.08	262.08	262.08	262.08
	年经营成本及营业税金和附加				87.36	87.36	87.36	87.36
	年净现金流量				15462.72	174.72	174.72	174.72
-	差额现金流量	- 1801.80	- 1801.80	- 1801.80	4894.92	112.92	112.92	112.92

用 Excel 中 IRR 函数计算，两方案差额投资内部收益率=6.35%,计算结果大于 5%( 基准收益率)。

4.4 比选结果

由以上计算结果可知，静态分析比选结果是优选投资小的方案一，而动态分析比选的结果是优选投资较大的方案二。由此看见，两种分析比选方法产生的结论可能不一致，其主要原因有以下两点：

- 1) 静态分析只考虑了两方案经营成本与投资的关系，未考虑经营期内营业收入的情况，而动态分析综合考虑了方案经营期内营业收入的情况，反映的数据比较全面,计算结果理论上更加真实可信；
- 2) 计算结果的评价与基准收益率的取值有关，本项目考虑银行中长期贷款利率，基准收益率取值为 5%。若考虑行业社会平均收益率，基准收益率可取值为 6% 或更高，若本案例基准收益率取值为 8%，则两种比选方法计算的结果一致，均为方案一最优。

5 结论

由前文研究论述可知：在本案例地下车库互斥型方案比选时，静态分析方法与动态分析方法比选的结果不一致，其中动态分析考虑的数据比较全面，

计算结果更可信，因此，互斥型方案比选时，应该优先选用动态分析方法；其次，互斥方案比选时，无论选择静态分析中增量投资收益率方法，还是选择动态分析中差额投资内部收益率方法，其评价准则中基准投资收益率的选取尤为重要。选用以上两种比选方法时，首先应根据开发商的资金实力或战略，研究确定合理的基准投资收益率，然后再进行经济比选计算。

参考文献：

- [1] 李育林. 智能机械车库建设及经营效益分析 [D]. 工业科技与产业发展, 科技经济导刊 2017. 26: 94-95.
- [2] 全国咨询工程师（投资）职业资格考试参考教材编写委员会. 项目决策分析与评价（2017 版）[M]. 北京：中国计划出版社，2017.
- [3] 李俊磊, 和凯利, 蒋国辉. 互斥型投资方案的分析评价 [J]. 价值工程, 2014, 34(1):166 — 167.
- [4] 国家发改委建设部. 建设项目经济评价方法与参数 [M]. 北京：中国计划出版社，2006.
- [5] 任伯淼, 余诚等. 机械式立体停车库 [M]. 北京：海洋出版社，2005，3-4.

湿陷性黄土地区城市综合管廊结构设计建议

樊锦仁

（中国市政工程西北市政设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000）

摘 要：本文针对湿陷性黄土地区城市综合管廊工艺、结构特点，通过分析湿陷性黄土的特性，对该种地质条件下城市综合管廊结构形式、地基处理、变形缝及接口等结构设计问题进行分析 and 探讨，并提出建议。

关键词：湿陷性黄土；城市综合管廊；结构形式；地基处理；变形缝及接口

1 引言

湿陷性黄土地区有很多已建成或在建的城市综合管廊工程。该类工程多为十分重要的生命线工程，按现行国标规定，其设计使用年限为 100 年。同管道类似，虽然不会对地基产生附加压力，但其中包括有大量的管道是承受内水压力的，其更具有特殊性，特别是在大中型城市综合管廊工程中，其安全性对整个工程的影响特别明显。由于城市综合管廊是近年来兴起的新兴市政综合工程，现行国标《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025—2004（以下简称 - 黄土规范）没有相关内容和规定，笔者在工作中经常遇到或经常有人提出有关城市综合管廊工程结构设计问题，尤其是地基处理厚度的确定等问题。根据多年的设计体会及经验，本文针对湿陷性黄土这种特殊的地基上城市综合管廊工程结构设计进行总结，仅作为参考。

2 湿陷性黄土地基概述

2.1 湿陷性黄土的特征与分布

湿陷性黄土是浸水后产生湿陷的黄土，是一种非饱和的欠压密土，具有大孔和垂直节理，在天然湿度下，其压缩性较低，强度较高，但遇水浸湿时，土的强度显著减低，在一定压力（即土自重压力或土自重压力与附加压力）下受水浸湿后结构迅速破

坏而发生显著附加下沉的现象，即湿陷。由于各地区湿陷性黄土生成年代和环境以及成岩作用程度等条件的不同，其湿陷性状均有明显的区别。湿陷性黄土分为非自重湿陷性和自重湿陷性两种。非自重湿陷性黄土，在土自重压力下受水浸湿后不发生湿陷；自重湿陷性黄土，在土自重压力下受水浸湿后则发生湿陷。在一定压力下，由于黄土湿陷而引起建筑物或构筑物不均匀沉降是造成黄土地区地基事故的主要原因。因此，对于黄土地基首先必须判明它是否具有湿陷性，再进而区别其是否属于自重湿陷性黄土或非自重湿陷性黄土，以便采取相应的措施并为地基基础设计提供依据。

湿陷性黄土在我国分布非常广泛，几乎遍布黄河中游地区的整个范围。湿陷性黄土一般覆盖在下卧的非湿陷性黄土层上，其厚度一般从几米到几十米，大则可达 400 多米，也有非湿陷性黄土层位于湿陷性黄土层之间的情况。一般情况下，在湿陷性土层内均不见地下水埋藏。

2.2 黄土的湿陷机理

黄土湿陷的发生除受水浸湿的外界条件外，其结构特征和物质成分是产生湿陷的内在原因。黄土的结构是在干旱或半干旱的气候条件下形成的，季节性的短期雨水把松散干燥的粉粒粘聚起来，而长



期的干旱使土中水分不断蒸发，于是，少量的水分连同溶于其中的盐类都集中在粗粉粒的接触点处。可溶盐逐渐浓缩沉淀而成为胶结物，随着含水量的减少土粒彼此靠近，颗粒间的分子引力以及结合水和毛细水的联结力也逐渐加大。这些因素都增强了土粒之间抵抗滑移的能力，阻止了土体的自重压密，于是形成了以粗粉粒为主体骨架的多孔隙结构。黄土结构中零星散布着较大的砂粒，附于砂粒和粗粉粒表面的细粉粒、粘粒、腐殖质胶体以及大量集合于大颗粒接触点处的各种可溶盐和水分子形成了胶结性联结，从而构成了矿物颗粒集合体。周围有几个颗粒包围着的孔隙就是肉眼可见的大孔隙。

黄土受水浸湿时，结合水膜增厚楔入颗粒之间，于是，结合水联结消失，盐类溶于水中，骨架强度随着降低，土体在上覆土层的自重压力或在附加压力与自重压力共同作用下，其结构迅速破坏，土粒滑向大孔，粒间孔隙减少。这就是黄土湿陷现象的内在过程。

影响黄土湿陷性的因素主要是与组构有关的几个方面，如微结构、颗粒组成和矿化成分等，这是各地区黄土湿陷性不同的主要原因。就同一地区而言，显著影响湿陷性的因素是土的物理性质，其中起主要作用的是孔隙比和含水量。黄土的湿陷性还与所受压力有关。

2.3 黄土的湿陷性的评价

黄土地基的湿陷性评价一般从包括全新世 Q4 ( Q<sub>4</sub><sup>1</sup> 及 Q<sub>4</sub><sup>2</sup> ) 黄土、晚更新世 Q3 黄土、部分中更新世 Q2 黄土的土层、场地和地基等方面进行，并提供必要的湿陷变形特征指标及物理力学指标。主要内容为：

1) 判断黄土的湿陷性，并确定湿陷性土层的总厚度及其在平面上的分布范围。地基土是湿陷性的还是非湿陷性的，《黄土规范》规定按室内浸水( 饱和 ) 压缩试验，在一定压力下测定的湿陷系数 s

作为判定非湿陷性黄土和湿陷性黄土的界限值。湿陷系数的大小反映黄土对水的敏感程度，湿陷系数越大 ,表示土受水浸湿后的湿陷量越大 ,对建筑( 构 ) 物的危害也越大；反之，则小。当湿陷系数 s 值小于 0.015 时，应定为非湿陷性黄土；当湿陷系数 s 值等于或大于 0.015 时，应定为湿陷性黄土。另外，湿陷系数 s = 0.03 的湿陷性黄土，湿陷起始压力值较大，地基受水浸湿时，湿陷性轻微，对建筑物危害性较小；0.03 < s = 0.07 的湿陷性黄土，湿陷性中等或较强烈，湿陷起始压力小的具有自重湿陷性，地基受水浸湿时，下沉速度较快，附加下沉量较大，对建筑物有一定危害性； s > 0.07 的湿陷性黄土，湿陷起始压力值小的具有自重湿陷性，地基受水浸湿时，湿陷性强烈，下沉速度快，附加下沉量大，对建筑物危害性大；在进行地基处理设计时，应根据上述湿陷系数的湿陷特点区别对待。

2) 湿陷性黄土场地的湿陷类型。如果是湿陷性黄土，还要判定场地是自重湿陷性的还是非自重湿陷性的。在其它条件都相同的情况下，自重湿陷性黄土地基受水浸湿后的湿陷事故较非自重湿陷性黄土地基更为严重。《黄土规范》规定湿陷性黄土场地的湿陷类型，应按自重湿陷量的实测值 Δ<sub>s</sub>' 或计算值 Δ<sub>s</sub> 判断。当自重湿陷量的实测值 Δ<sub>s</sub>' 或计算值 Δ<sub>s</sub> 小于或等于 70mm 时，应定为非自重湿陷性黄土场地；当自重湿陷量的实测值 Δ<sub>s</sub>' 或计算值 Δ<sub>s</sub> 大于 70mm 时，应定为自重湿陷性黄土场地。

3) 判定湿陷性黄土地基的湿陷等级，也就是在规定的压力作用下，建筑物地基充分浸水时的湿陷变形，它近似反映了地基的湿陷程度。《黄土规范》规定湿陷性黄土地基的湿陷等级应根据湿陷量的计算值和自重湿陷量的计算值等因素，按表 1 判断。

表 1 湿陷性黄土地基的湿陷等级

<div><div>湿陷类型</div><div><div>Z (mm)</div><div>ZS (mm)</div></div></div>	非自重湿陷性黄土场地	自重湿陷性黄土场地	
		70 < Δ ZS ≤ 350	Δ ZS > 350
Δ Z ≤ 300	I （轻微）	II （中等）	—
300 < Δ Z ≤ 700	II （中等）	* II （中等）或 III （严重）	III （严重）
Δ Z > 700	II （中等）	III （严重）	IV （很严重）
* 注：当湿陷量的计算值 Δ Z > 700mm、自重湿陷量的计算值 Δ ZS > 300mm 时，可判为 III 级，其他情况可判为 II 级。			

4) 湿陷起始压力

湿陷起始压力是指黄土在受水浸湿后开始产生湿陷时的相应压力，严格的说，应该是湿陷系数接近于零时的压力，是反映黄土湿陷性的一个重要指标。湿陷起始压力可用来判别黄土湿陷类别。当土的饱和自重压力小于或等于湿陷起始压力时，可定为非自重湿陷性黄土；当土的饱和自重压力大于湿陷起始压力时，可定为自重湿陷性黄土。从实质上来说，湿陷起始压力应相当于土受水浸湿后的残余结构强度，因此，这一指标对于确定基础方案及确定是否需要进行地基处理非常重要。

3 湿陷性黄土地区给水排水管道的破坏特征与影响因素

综合管廊一般不会对地基产生附加压力，不会因地基土强度破坏产生地基破坏，地基土湿陷变形是湿陷性黄土地区管道破坏的主要原因，地基湿陷变形是一种下沉量大、下沉速度快的失稳性变形，对管道的危害性大，伴随的管道破坏通常是突发性的，主要特点为：

- 1) 地基土湿陷使管道随地基产生过大变形、裂缝、屈曲或屈服；
- 2) 地基土湿陷使综合管廊担空，综合管廊受力状态方式变化产生过大变形、裂缝、屈曲或断裂；
- 3) 地基土湿陷使综合管廊接口发生过大转角。
- 4) 地基土湿陷使综合管廊接口发生过大垂直

错位。

综合管廊地基湿陷应由浸水引起的，可能有 3 种情形：

- 1) 环境水，如雨水、地面流水、构筑物渗漏水等引起地基土湿陷；
- 2) 管廊接口漏水引起地基土湿陷；
- 3) 管廊结构漏水引起地基土湿陷。

影响湿陷性黄土地区城市综合管廊破坏的主要因素有：

- 1) 湿陷类型；2) 湿陷等级；3) 地基处理；4) 管廊结构形式；5) 管廊接口设计；6) 施工质量；7) 运营维护。

4 湿陷性黄土地区城市综合管廊结构设计建议

城市综合管廊作为一种特殊构筑物，为方便起见，在湿陷性黄土地区其结构设计仍可参考现行 GB50025-2004《黄土规范》的原则，即在设计之前应进行分类，再根据其分类、地基湿陷类别、湿陷等级等确定地基处理厚度、方法、结构形式、接口形式及防水措施。

4.1 城市综合管廊分类

城市综合管廊应视为地基受水浸湿可能性较大或可能性大的构筑物，与其他建（构）筑不同，除工程规模（内含管道的管径、管材，内水压力、接口形式）是影响地基受水浸湿可能性的主要因素外，



结构形式、接口形式等对其影响也十分显著，划分类别时，建议参照 GB50025-2004《黄土规范》，可根据城市综合管廊工程规模（即内含管道的管径）、结构形式、接口形式并考虑其设计使用年限 100 的重要程度进行划分。湿陷性黄土地区城市综合管廊的分类可划分为甲、乙、丙、丁类，具体见表 2。

表 2 湿陷性黄土地区给排水管道的分类

分类	各类给排水构筑物划分
甲	① 内含大型给水工程（管径≥ 1600mm）、排水工程（管径≥ 1500mm）、热力工程（管径≥ 800mm）管道； ② 不设缝装配式结构。
乙	① 内含中型给水工程（管径为 1600 ～ 1000mm）、排水工程（管径为 1500 ～ 1000mm）、热力工程（管径为 800 ～ 400mm）管道； ② 设缝装配式结构。
丙	除甲、乙类外的小型 综合管廊工程。

#### 4.2 地基处理厚度及范围

对于城市综合管廊，地基处理设计主要是处理厚度的确定。

一般来说，地基处理的目的是为保证地基土不发生失稳性变形导致城市综合管廊破坏，因综合管廊不产生附加地基应力，在湿陷性黄土地区，地基处理厚度往往取决于湿陷等级、湿陷下限等因素，一般来说，湿陷等级越大，湿陷下限越深。对于非自重湿陷性黄土，主要控制下部未处理湿陷性黄土层的湿陷起始压力值，一般不应小于 100kPa；在自重湿陷性黄土场地，由于城市综合管廊埋置深度一般较深（覆土 + 管廊总高），部分湿陷性土层已经挖除，所以其地基处理是以控制下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量为主。

所以在自重湿陷性黄土场地，参考现行国标《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025—2004，甲类综合管廊建议消除地基地基全部湿限量；乙类综合管廊建议消除部分湿陷量，控制剩余湿限量不大于 150mm；丙类综合管廊建议消除部分湿陷量，控制剩余湿限量不大于 200mm。除剩余湿陷量控制要求之外，建议在自重湿陷性黄土场地，城市综合管廊的地基处理最小厚度不小于 1m，处理范围为每边超出底板外边缘的距离不小于处理厚度。当

遇大厚度湿陷性黄土地基时，建议参照甘肃省地方标准《大厚度湿陷性黄土地场工程处理技术规程》DB62/T25-2012 进行。在非自重湿陷性黄土场地，其处理厚度及剩余湿陷量的控制应按建筑物执行现行 GB50025-2004《黄土规范》，本文不再详述，另建议在非自重湿陷性黄土场地，城市综合管廊的地基处理最小厚度不小于 0.5m，处理范围为每边超出底板外边缘的距离不小于处理厚度。

#### 4.3 地基处理方法

确定了地基处理厚度，我们就可以考虑地基处理方法的选择问题。针对湿陷性黄土的地基处理方法很多，设计人员应根据湿陷性黄土层的类别、湿陷等级、地基处理厚度和湿陷性黄土的天然含水量（或饱和度）等，并考虑施工设备、施工进度、材料来源和当地环境等因素，经技术经济综合比较后进行确定。以下是几种常用的地基处理方法。

##### 1）垫层法

垫层法是一种浅层处理湿陷性黄土地基的传统方法，也是湿陷性黄土地区水池类构筑物地基处理的常用方法。因地制宜，材料常采用素土和灰土。垫层法处理厚度一般为 1~3m，处理厚度超过 3m 时，挖、填土方量大，施工期长，施工质量不宜保证。土（或灰土）垫层的施工质量，应用压实系数

c 控制，并应符合 1）厚度小于或等于 3m 时，不应小于 0.95；2）厚度大于 3m 时，其超过 3m 部分不应小于 0.97。土垫层的承载力特征值，应根据现场原位（静载荷或静力触探等）试验结果确定。灰土垫层中的消石灰与土的体积配合比一般为 2:8 或 3:7。

##### 2）强夯法

强夯法是处理湿陷性黄土地基的常用方法之一，处理厚度为 3~12m。适宜处理天然含水量低于塑限含水量 1%~3% 的湿陷性黄土地基。在拟夯实的土层内，当土的天然含水量低于 10% 时，宜对其增湿至接近最优含水量；当土的天然含水量大于塑限含水量 3% 以上时，宜采用晾干或其他措施适当降低其含水量。强夯的单位夯击能，应根据施工设备、黄土地层的时代，湿陷性黄土层的厚度和要求消除湿陷性黄土层的有效深度等因素确定。试夯过程中，应从夯击终止时的夯面起至其下 6~12m 深度内，测定土的干密度、压缩系数和湿陷系数等指标是否符合设计要求。强夯土的承载力，宜在地基强夯结束 30 天左右，采用静载荷试验测定。

##### 3）挤密法

挤密法常用于处理大厚度、饱和度不大于 65% 的湿陷性黄土，处理深度常为 5~15m。对于甲、乙类建（构）筑物，应于地基处理施工前，在现场选择有代表性的地段进行试验或试验性施工，试验结果应满足设计要求，并应取得必要的参数再进行地基处理施工。当挤密处理深度不超过 12m 时，不宜预钻孔，挤密孔直径宜为 0.35~0.45m，当挤密处理深度超过 12m 时，可预钻孔，其直径（d）宜为 0.25~0.30m，挤密填料孔直径（D）宜为 0.50~0.60 m。挤密填孔后，3 个孔之间的最小挤密系数：甲、乙类建（构）筑不宜小于 0.88；丙类建（构）筑物不宜小于 0.84。孔底在填料前必须夯实。孔内填料宜

用素土或灰土，必要时可用强度高的填料如水泥土等。当防（隔）水时，宜填素土；当提高承载力或减小处理宽度时，宜填灰土、水泥等。填料时，宜分层回填夯实，其压实系数不宜小于 0.97。成孔挤密，可选用沉管、冲击、夯扩、爆扩等方法。挤密孔的孔位，宜按正三角形布置。挤密地基，在基底下宜设置 0.50m 厚的灰土（或土）垫层。

#### 4.4 结构选型及接口

目前各种结构形式的城市综合管廊在湿陷性黄土地区均有应用，但根据湿陷性黄土的地质特征，应优先采用变形能力强的设置伸缩缝且接口为柔性的结构形式；不宜采用不设置伸缩缝的装配式结构形式，不论采用现浇还是装配式矩结构形式，对于其变形缝，应采用橡胶止水带，其放置方式应为埋入式。变形缝的嵌缝密封料宜采用遇水膨胀橡胶。后浇带及施工缝应埋入钢板或橡胶止水带。

#### 4.5 防水措施

为有效防止城市综合管廊在湿陷性黄土地区的湿陷破坏，管廊内部采取更有效防水措施十分必要，在结构设计中必须引起重视，本文不做重点论述。

#### 5 待研究问题

地基处理厚度或剩余湿限量与综合管廊变形的关系尚缺乏研究资料，地基处理厚度仅为经验，缺乏理论支持，需进一步研究。

#### 参考文献：

- [1] 钱鸿缙，王继唐，罗宇生，张彦钧，涂光祉，师管孝，奇文浩，等．湿陷性黄土地基 [M]．北京：中国建筑工业出版社，1987．
- [2] 《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025—2004
- [3] 华南工学院，南京工学院，浙江大学，湖南大学．地基及基础 [M]．北京：中国建筑工业出版社．



## 钢结构施工详图深化设计管理心得浅谈

马崇亮

( 中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000 )

摘 要：我国钢结构施工图设计分为两个阶段，分别为钢结构设计图和钢结构施工详图。详图深化设计完成的图纸须由原设计单位校核认可，方可进行加工、制作和安装。因此设计单位对钢结构施工详图深化设计的管理就成为钢结构工程最终施工质量的关键环节。作者就近年来从事钢结构施工图详图深化设计管理工作中的得失与经验进行总结，供设计人员参考。

关键词：钢结构；施工详图深化；设计管理

### 1 前言

近年来，装配式结构在我国各类工程建设项目中的占比正逐年加大。钢结构作为装配式结构中的主力军，有着得天独厚的优势，也得到了长足的发展。我国钢结构施工图设计分为两个阶段，分别为钢结构设计图和钢结构施工详图<sup>[1]</sup>。两阶段的设计制图在深度、内容和表示方法均不相同。这也是为了提高我国钢结构工程设计质量和设计效率，同时为审核钢结构不同设计阶段图纸提供设计依据。国家图集<sup>[1]</sup>采用图文结合的形式，每一张图主体是设计详图，图面的一小部分由图集编者撰写编者提示，以使读者弄清楚各种各样的设计图怎么画以及绘图时应考虑的问题，逐步掌握钢结构设计制图的内容和深度以及表示方法。

工程实际中，第一阶段钢结构设计图均由设计院设计人员进行设计，第二阶段由专业钢结构深化设计公司或由具有相应资质的钢结构制作安装厂家进行深化设计。深化设计完成的图纸须由原设计单位校核认可，方可进行加工、制作和安装。因此设计单位对钢结构施工详图设计的管理就成为钢结构工程最终施工质量的关键环节。然而钢结构详图设计单位水平良莠不齐，也对钢结构施工详图深化设计管理提出了不小的挑战。笔者就近年来从事钢结

构施工图详图深化设计管理工作中的得失与经验进行总结，供设计人员参考。

### 2 设计成果要留真凭实据

此处所指的“真凭实据”是加盖详图深化设计单位相关资质公章的设计蓝图。实际工程中，钢结构施工深化详图难免要经过多次交流、沟通、修改才能最终定稿。而在这过程中，中间成果主要依靠电子文件形式在设计单位与深化设计单位之间进行传递交流，当最终定稿后，切不可大意对电子文件形式的设计成果给予确认许可，这其中的风险不言而喻。电子文件版本众多，又可随意修改，难免造成各方在竣工结算中推诿扯皮，置设计院于不利之地。因此，设计深化最终成果一定要以有效蓝图的形式进行留底备案。在施工过程中也须要求建设单位、施工单位、监理单位严格按照设计蓝图进行施工，设计变更也要留存有效纸质版本以备日后查阅对质。

### 3 连接方式改变对工程造价的影响

钢结构梁柱刚接有两种典型的连接方式，一种是螺栓连接，即钢梁的腹板和上下翼缘均采用螺栓连接；另一种是栓焊混合连接，及钢梁的腹板采用螺栓连接，上下翼缘采用剖口焊连接。在应用最广

泛的等强连接设计原则下，这两种连接方式都是可行的。但两者在用钢量上却相差甚远，螺栓连接因为连接板的使用，其用钢量要远高于栓焊混接。而螺栓连接因其施工简便、施工速度快、施工质量易于控制等原因，比较受到施工单位的青睐。因此，在施工详图深化过程中，常将原设计的栓焊混接深化修改为螺栓连接，从技术角度这本无可厚非，但是因连接形式改变而造成的工程造价追加却不可忽略。尤其在大型工程中，梁柱连接节点很多，工程造价的增加就更加可观。所以对于这种深化修改，一定要慎重，要让建设方知情，告知其中利弊，由建设方权衡利弊以做决定，切不可按照一般技术问题擅自处理，造成的工程造价问题事后影响很大，甚至失信于建设方，得不偿失。

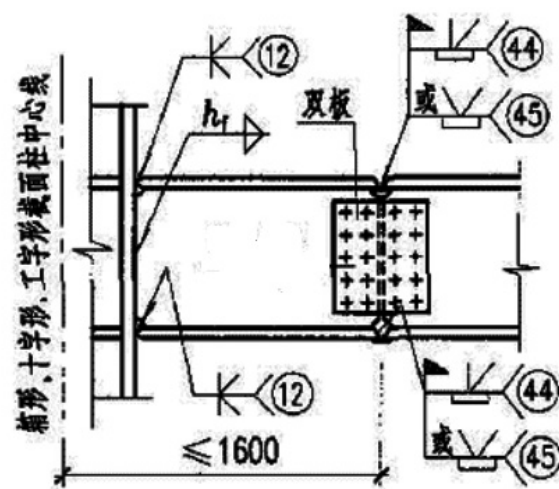


图 1 栓焊混合连接

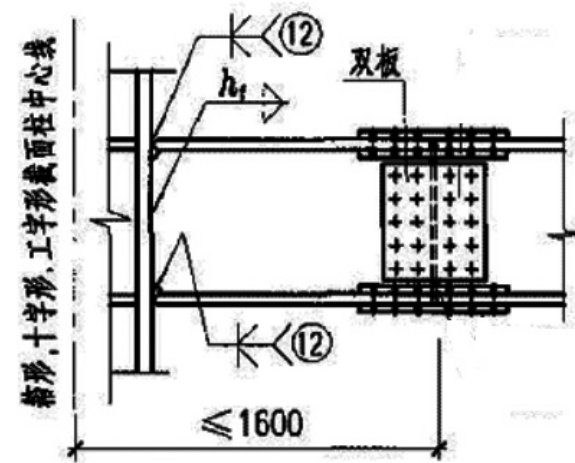


图 2 全螺栓连接

### 4 重视细节，确保工程质量

在钢结构施工深化详图审图过程中，设计单位人员要抓住重点，但也不可忽略细节，否则也会陷入进退两难的尴尬境地。

在工业建筑中，大跨度屋盖结构常采用网架结构方案。因为跨度较大，采用小立柱高度过高无法满足屋面排水坡度，网架结构则要采用结构找坡来解决屋面排水问题。网架结构自身找坡，则相应方向的支座底标高也不相同，工程中常采用下部结构柱变高度来实现。而在详图深化过程中，有的深化单位未读懂原施工图的设计意图，深化的钢柱高度一致，未考虑网架找坡的影响。如若原设计单位粗心大意，自认为这事情理之中的设计原则，盲目确认详图设计，便给自己带来不必要的麻烦。这样的疏忽造成下部结构施工完成后，网架施工单位无法进行施工作业的窘境。最终采用二次焊接加高、加强柱头的设计方案，才使得项目得以进行。因此在钢结构施工深化详图审图过程中，一定要注重细节，要先考虑到那些细节对工程质量的影响很大，要预先判断，及时发现并予以纠正。

### 5 对比深化详图用钢量

衡量钢筋混凝土结构经济性的重要指标是含钢量，相应的，衡量钢结构经济性的重要指标则是用钢量。一般情况下，钢结构设计图阶段用钢量并未考虑各种连接构造的零散板件，包括一些构造板件、衬板、垫板等的数量也未计算在内。因此，钢结构施工详图的总用钢量会比钢结构设计图阶段的用钢量有所增加。鉴于此，在钢结构施工深化详图校审过程中设计人员应对钢结构深化详图的总用钢量给予足够重视。应对照原钢结构设计图中的用钢量，考察深化详图用钢量的增幅是否在合理范围内。如有的深化详图比原设计用钢量大幅增加，则要查明增加的原因是否合理，并予以及时纠正。也有少数情况下，深化详图的用钢量比原设计少，这时也要

警惕深化施工图是否存在安全隐患，及时排查。还有甚者，深化详图不注明用钢量，这样的深化详图是绝不能确认通过的。

6 明确防腐、防火涂料干膜厚度

不同于钢筋混凝土结构，钢结构的防腐及防火性能较差，因此钢结构防腐及防火设计也是钢结构设计中的重要环节。根据规范要求不同构件的耐火等级、所处的环境类别，需在钢结构表面涂刷防腐、防火涂料<sup>[2][3]</sup>。市场上的防腐、防火涂料种类繁多，各厂家都标榜自己的涂料性能之优异，经常让设计人员眼花缭乱。对于各类涂料，要根据规范相关条文的规定，把握防腐、防火涂料的干膜厚度。这也是比较容易忽略的一项。在有些深化图说明中，只简单说明各类构件的环境类别、耐火等级，这无非是施工厂家意图在涂料施工时为自己留有的极大“富余”。所以对于防腐、防火涂料，在深化详图阶段也必须明确各构件所使用防腐、防火涂料的干膜厚度，这是十分必要的。

7 关注构件焊缝等级

焊接连接是钢结构重要的连接方式。工程常用的焊缝有角焊缝、对接焊缝、全熔透坡口焊缝、塞焊缝等。不同连接部位的焊缝等级也各不相同，应根据构件重要性的不同选用经济适用的焊缝等级。焊缝等级的确定在钢结构设计说明中都会有明确的说明，有些特别重要的焊缝等级还会在相

关节点处特别标示注明。因此，在深化详图校审时，应特别留意焊缝等级的说明，是否与原设计一致。深化详图不得随意降低原设计要求的焊缝等级，确有施工困难的应与设计单位协商确定解决。相应的，深化详图也不得随意提高原设计的焊缝等级，以免造成不必要的浪费。

结语

以上便是现阶段作者对于钢结构施工深化详图设计管理过程中的一些经验总结。在这一过程中，有过成功的经验，也有过失误的教训，总结来说，钢结构施工详图深化设计不是纸上谈兵，要想对钢结构详图深化设计管理做到心中有数，就要对钢结构的加工方式、加工手段、加工流程有一定了解，并且对常规钢结构构造组成了然于胸。有条件时，设计人员要多深入钢结构加工、生产、安装第一线进行实际认知，这样才能做好钢结构详图设计管理工作，在面对形形色色的钢结构详图深化单位时，才能处变不惊、游刃有余。

参考文献：

[1] 《钢结构设计制图深度和表示方法》（03G102），中国建筑标准设计研究院。  
[2] 《钢结构防火涂料》（GB 14907-2002），中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局。  
[3] 《钢结构防腐蚀涂装技术规程》（CECS343-2013），中国建筑工业出版社。

基于汶川地震的强余震统计衰减规律研究

赵 龙

（中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000）

摘 要：2008 年汶川特大地震发生后，中国地震局通过固定及临时增加的流动台站获得了数量可观的余震地震动数据，为地震危险性分析提供了详实的研究资料，弥补了中国地震动衰减规律研究借助国外数据的地域误差。本文通过 Gutenberg-Richter 关系建模分析得到汶川地震余震震级 - 频度分布（FMD）。主余震统计特性显示  $M_s$  4.0-6.4 范围内的余震记录震中距及震级分布相对均匀，可作为建立地震动衰减规律的依据。故针对土层地表进行了 EW、NS、UD 三个方向的统计回归分析，给出了各向地震动峰值加速度的定量衰减关系表达式。

关键词：强余震；最大余震震级预测；余震发生率；震中距；衰减规律

引言

大量的地震历史资料表明，一次强地震过后总是伴随着大量余震的发生，统计资料显示强余震或较强余震的发生率达 89%。如何全面认识余震的频发性、突发性及其受场地、主震后时间、主震震级等诸多作用因素并将这种共同作用的特性体现在工程抗震设计中，土木工程界进行了大量的研究，即余震的地震危险性分析。地震动衰减关系是地震危险性分析的重要实用结果之一，涉及震源特性、传播介质与场地条件等方面，是工程抗震设防输入及地震风险分析的重要组成部分，对提升结构抗震性能具有十分重要的意义。目前的强余震研究依然以区域统计分析为主，虽然其结果具有滞后性，但对深入了解地区强余震危险性 & 进行后续研究依然不可或缺。在强余震序列中，较大的余震可能造成额外的伤害并二次触发人员和基础设施受灾的风险。因此，建立余震序列模型，探究区域强余震特性是地震危险性分析的重要内容，用于评估和减轻地震风险。

四川地区地处我国西南，自汶川地震发生至今，青川县（5.4 级）、盐源县（5.7 级）、炉霍

县（5.3 级）、白玉县（5.4 级）、芦山县（7.0 级）、越西县（5.0 级）、康定县（6.3 级）、金口河（5.0 级）、筠连县（4.9 级）、九寨沟县（7.0 级）震害频发，灾情反复，期间关于后续地震是否为汶川地震余震的讨论争议不断，考虑到该地区地质构造复杂，地震灾害影响因素较多，有进行区域地震动特性研究及探索余震衰减规律的必要性及迫切性。

我国由于缺乏详实地震动记录数据库和受到发展水平的限制，学者不得不采用国外的地震动数据<sup>[1]</sup>及衰减模型<sup>[2,3]</sup>进行研究。但考虑到研究地震动衰减规律最佳的方法是通过统计回归计算，数据的地域限定是获取科学衰减规律的前提<sup>[4]</sup>，2008 年汶川 8.0 级地震发生后中国地震局获取了大量丰富的地震动资料，通过这些数据建立了考虑震中距与余震参数关系的衰减关系<sup>[5]</sup>、考虑震级分组的地震动衰减关系<sup>[6]</sup>及选用新的衰减模型<sup>[7]</sup>等得到具体的回归分析表达式。

但由于地震的复杂性及历史资料的限制，对地震动衰减规律的认识仍不能满足现代结构抗震理念的需要。伴随科学技术的发展及地震频发引起的深



入研究,大量科学真实的地震动数据的累积及理论基础的沉淀,为地震动衰减规律的进一步研究提供了条件。

1 数据

强震动观测是获取强震动记录的主要途径。2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震中,我国固定强震动台网 19 个省市的 420 个台站及临时增设的流动观测台站获得了高质量的完整加速度记录。由于流动台布设过程中考虑了地震动的衰减、地形和盆地效应以及工程结构的响应,该批记录成为地震动相关研究的珍贵资料。



图 1 汶川地震强震动流动观测台站分布示意图

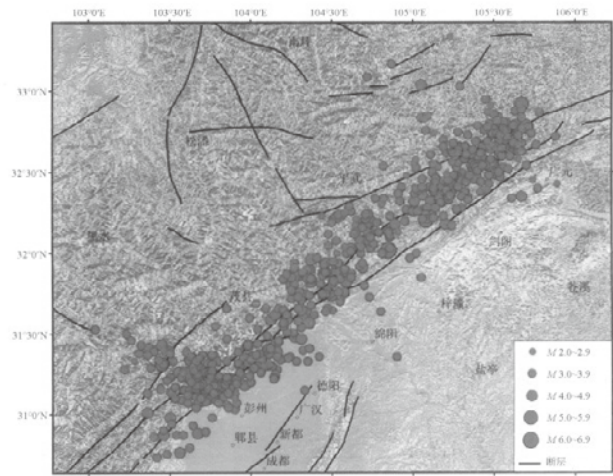


图 2 汶川地震余震的空间分布图

截止 2008 年 9 月 12 日,固定及流动台站共记录到余震 949 次,3250 组三分量加速度记录。由于震后余震发生频繁,致使一些余震记录相互干扰,文中数据选用经过强震动数据中心进行零线调整、频域滤波等初步处理的数据。参照美国 NGA 计划,用于余震衰减规律拟合的记录筛选标准如下:(1)余震面波震级大于等于 4.0 级;(2)由放置在自由场或低高度的建筑物处的仪器得到的加速度记录,站点的土-结构相互作用的影响忽略不计;(3)余震地面运动 PGA 大于等于 20 cm/s<sup>2</sup>;(4)震中距小于 110km。

依照上述标准,对里氏震级  $M_L$  通过经验关系进行了统一的面波震级  $M_S$  处理,对固定台站获取的地震动记录根据震中及台站的坐标位置计算得到震中距。选取 296 组土层地表观测的三分量余震记录,共 888 条。选用 Gutenberg-Richter 关系<sup>[8]</sup>建模,对所选余震记录进行了震级-频度分布(Frequency-Magnitude Distribution, FMD)统计,根据 FMD 结果,如图 3 中直线所示,得到最小完备震级  $M_C = 4.0$ ,表明数据筛选标准合理。

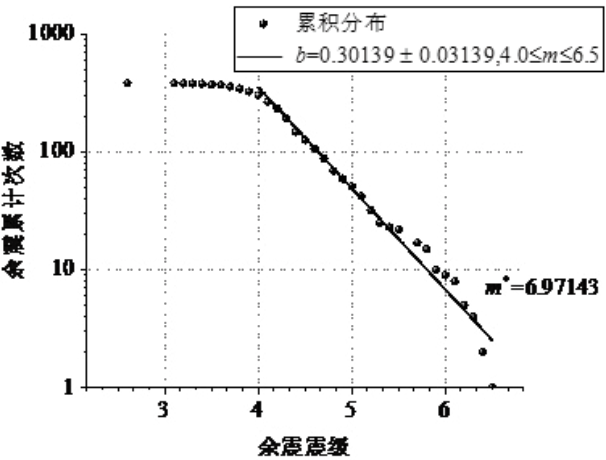


图 3 汶川地震余震震级-频度分布

2 余震统计衰减规律

2.1 地震动衰减模型

地震动衰减模型必须考虑四方面参数:地震

动参数、地震参数、传播参数和场地参数。文中针对地震记录表现出的震中距和震级分布相对均匀性,考虑到目前尚未得出统一认可的地震动峰值加速度随震级及震中距衰减的规律,研究发现日本学者金井清<sup>[9]</sup>最早提出了综合震级  $M$  与震中距  $R$  的地震动衰减关系:

$$\lg PGA = c_1 + c_2 M + c_3 \lg R$$

McGuire<sup>[10]</sup>考虑基岩及土层场地影响因素提出:

$$\lg PGA = c_1 + c_2 M + c_3 \lg (R + R_0) + c_4 S$$

式中,PGA 为地震动参数;M 为震级;C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 为回归系数;R 为震中距;R<sub>0</sub> 为近场饱和因子,根据卢大伟等<sup>[5]</sup>的研究结果取 15km;S 为场地因子,土层场地对应 S=1。

此模型在数次修正的基础上,形式简单,参数较少,涵盖因素相对全面,参数拟合后能够定量反应震级、震中距和场地条件与地面运动峰值加速度的关联及其比重。因此本文选取该模型进行分析计算,地震动参数选用 PGA。

2.2 数据拟合分析及结果

土层地表观测条件下,S=1,拟合目标函数中出现两个常数项 C<sub>1</sub>、C<sub>4</sub> 且无约束关系,迭代过程中将 C<sub>1</sub> + C<sub>4</sub> 作为一个常数项进行参数拟合,所得结果满足残差最小后随机为 C<sub>1</sub> 和 C<sub>4</sub> 赋值。文中选用的优化算法为 trust-region 算法又称信赖域法,属于常用的基本优化算法。在拟合计算中,为尽可能使用原始数据本身而不做处理,在编写拟合公式时发现将衰减模型定义为式 所示的对数形式和式 所示的指数形式,回归分析结果存在差异,故分别进行了两种形式的拟合分析,以进行比较。

$$PGA = 10^{c_1 + c_2 M + c_3 \lg (R + R_0) + c_4 S}$$

利用拟合优度 R<sup>2</sup> 作为判断拟合准确性的标准。

拟合优度 R<sup>2</sup> 又称可决系数或相关系数,表示因变量的总变异中可由回归模型中自变量解释的部分所占的比例,是衡量所建立模型效果好坏的指标。文中用于对比的拟合优度均为筛去不具有统计学意义的数据后所得的修正拟合优度 (Adjusted R Square),其最大值为 1,越接近 1,说明回归结果对观测值的拟合程度越好;反之,拟合程度越差,计算公式见式。

$$R^2 = \frac{SSR}{SSE} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} = \frac{\text{回归平方和}}{\text{残差平方和}}$$

图 4 为 trust-region 算法的指数形式及对数形式拟合结果,对比两组 PGA 等值线图,指数形式拟合时原始数据离散点分布呈现集中现象,基本用于 PGA 小于 100 的拟合,对数形式拟合时,原始数据离散点则分布相对均匀。且指数形式与对数形式的残差分布明显不同,故分别计算了对应的均方根误差 RMSE。具体的参数拟合值及拟合优度见表 1。

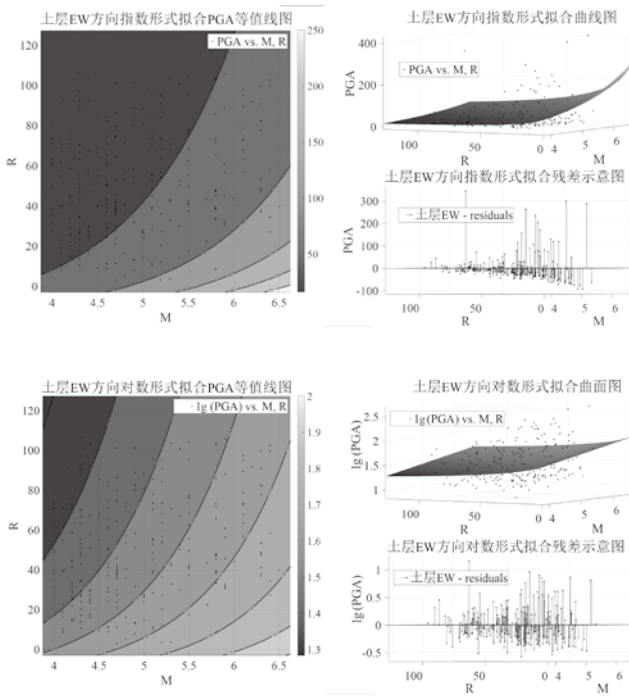


图 4 土层地表 EW 方向余震衰减规律拟合结果

表 1 土层地表参数拟合结果

拟合方向	参 数				拟合优度 $R^2$
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	
土层 EW 方向	16.4945	0.22881	-0.58452	-14.914	0.08343
	0.69469	0.14332	-0.3072	0.69469	0.09111
土层 NS 方向	-2.2714	0.25727	-0.6483	3.82929	0.12582
	0.72621	0.18135	-0.44228	0.72621	0.16595
土层 UD 方向	10.1507	0.27897	-0.59152	-9.0066	0.09552
	0.4500	0.11699	-0.08556	0.45007	0.03254

RMSE 计算结果表明指数形式的模型结果均大于 4.27，而对数形式的模型结果均小于 0.385，故土层观测条件下，三向拟合参数取对数形式模型结果中拟合优度  $R^2$  较大的计算结果，见表 2。

表 2 土层地表拟合参数最终取值

拟合方向	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
土层 EW 方向	0.69469	0.14332	-0.3072	0.69469
土层 NS 方向	0.72621	0.18135	-0.44228	0.72621
土层 UD 方向	0.4500	0.11699	-0.08556	0.45007

表 2 的拟合参数最终取值，EW 和 NS 方向参数值相对接近，与 UD 方向差别明显。现有的余震衰减关系研究中，有将 EW 和 NS 方向归纳为水平方向统一拟合的研究。本文结果表明，EW 和 NS 方向参数值虽然相对接近，但不论原始的观测数据还是参数拟合结果，两方向都不完全一致，不论对结构进行水平方向的单向地震动作用计算还是考虑双向地震动作用，精确研究时应该视为两种情况，因此有必要分别给出 EW 方向与 NS 方向的地震动衰减关系。

3 结论

本文基于数量庞大、记录真实科学的汶川地震强余震观测数据结果，对汶川地震主余震特性进行了统计研究。利用 Gutenberg-Richter 定律建模，得到汶川地震余震的震级 - 频度分布和最小完备震

级。通过回归分析建立地面运动峰值加速度随震级、震中距的地震动衰减关系。得出以下主要结论：

（1）汶川地震余震震级 - 频度分布（FMD）显示，汶川地震余震序列的最小完备震级  $M_c=4.0$ 。说明震级在 4.0 及以上的序列记录完整，可作为余震衰减规律的计算基础。

（2）在土层地表观测条件下建立了 EW、NS 及 UD 方向的地面运动峰值加速度随震级、震中距的衰减关系。结果较好地反应了不同方向的汶川地震实际余震衰减规律，为进一步探索结构主余震序列作用下的动力响应提供地震动记录选取依据。

由于缺少  $M_s$  6.5~7.9 级的余震记录资料，本文结果对这一震级区段仅限于合理外推的基础上，对评估真实地震动衰减仅供参考，后期补充这一震级区段资料后可对本文结果进行修正。

（下转第 4 页）

无粘结预应力技术在圆形水池中的应用

路洪波 杨晨光 张 磊  
（中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000）

摘 要：从结构设计、施工要点、成本分析等方面介绍了无粘结预应力在西安市第二（北石桥）污水处理厂污水处理厂的终沉池中的应用，并且从经济方面进行比较，认为无粘结预应力技术在安全上可靠、技术上可行、经济上更加合理，对其他工程具有可借鉴意义。

关键词：无粘结预应力；圆形水池；成本分析

1 引言

大直径圆形水池在给水处理工程尤其是大型污水处理厂工程中十分常见，该类水池一般高度不大，但直径较大。池壁结构设计中，竖向计算模型一般按悬壁板计算，水平计算模型按整体圆环计算。由于池壁高度不大，竖向设计一般采用普通钢筋混凝土即可满足受力要求。但水平计算中，由于直径太大，昼夜温差、季节温差引起环向拉应力，普通钢筋混凝土结构难以同时满足强度及裂缝要求，而水处理池属于特种结构，对裂缝控制要求严格，为解决这一难题，一种方案是加大壁厚，增大含钢量，沿池壁设置伸缩缝，增加投资；另一方案则是采用预应力钢筋混凝土结构。近年来，预应力技术、张拉工艺、设备成套技术水平飞速发展，无粘结预应力在圆形水处理池中的应用也得到了广泛的推广和应用<sup>[1]~[3]</sup>。

2 工程概况

本工程位于西安市第二（北石桥）污水处理厂，终沉池 2 座，采用周进周出辐流沉淀池，设计规模为  $5 \times 104 \text{ m}^3/\text{d}$ ，均为圆形池体，直径为 38m，高 4.84m，池体底板基础部分位于黄土状粉质粘土层，基底采用三七灰土换填处理湿陷性黄土，并浇

筑 100mm 厚 C15 素砼垫层；底板混凝土采用厚度 500mm、强度等级 C30、抗渗等级 P8；壁板采用无粘结预应力钢筋混凝土，厚度 350mm，强度等级 C40、抗渗等级 P8；顶部设有走道板，内侧有进水槽、出水槽。为半地下式圆形水池，底板采用一次连续现浇混凝土，池壁采用环向无粘结预应力混凝土结构。

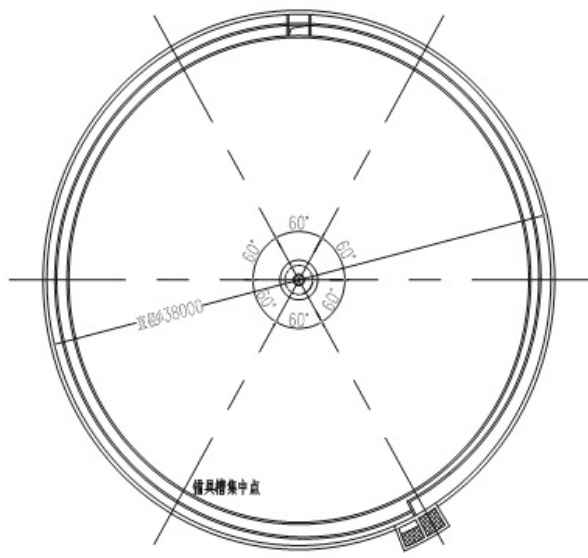


图 1 终沉池平面图

3 结构设计

针对污水处理厂中遇到的圆形水池直径大、



高度相对不高的特点,为了满足设计过程中存在的环向拉应力产生的强度、抗裂要求,为了防止混凝土过早开裂,并有效利用高强材料,采取在构件承受外荷载之前,预先张拉钢筋,由此对构件截面施加一定的压力,使之能够部分或者全部抵消以后构件使用过程中由于外荷载所产生的拉应力,即预压应力与外荷载引起的应力叠加之后,可以使构件中不出现拉应力,或者出现很小的拉应力而使裂缝微小不致于破坏构件,满足规范要求。实际上是利用混凝土较强的抗压能力和高强钢筋的抗拉能力来弥补混凝土抗裂能力的不足<sup>[4]~[5]</sup>。

本终沉池设计中,采用无粘结预应力结构,即预应力筋随池壁曲线布置在池壁外侧,预应力筋与水池池壁之间没有粘结,张拉锚固后传到混凝土池壁上,通过对池壁外侧受拉区施加预压应力的办法来克服强度、抗裂性能要求,利用对环向无粘结预应力钢筋在池壁外侧施加预应力,用于抵消由于池内水压力产生的环向拉力。池体混凝土的预压应力用于抵抗环向拉力之后,仍保留 $0.4\text{N}/\text{MM}^2$ 的压应力,环向拉力采用池内有水、池外无土的最不利工况下产生的环向拉力。计算时必须保证预应力损失计算的正确性,同时还应注意竖向池壁上由于预应力持续施加而产生的环向压力和竖向弯矩。

池壁环向拉力计算中考虑的预应力损失计算:考虑到池内水压力作用产生的环向拉力和池壁板温差作用下产生的环向拉力,通过环向拉力计算所需预应力钢筋,假定池壁顶端自由,底部铰接,计算时考虑预应力损失,包括锚具变形损失、预应力筋与池壁之间的摩擦损失、分批张拉过程的弹性压缩引起的预应力损失、应力松弛损失、混凝土收缩徐变引起的损失等。

池壁与底板连接形式:为使环向预应力筋的张拉应力最大限度的产生混凝土环向压力,池

壁下端采用滑动支承,杯槽干铺滑动层采用厚度 $4\text{mm}$ 厚橡胶垫板,橡胶垫板接头采用热焊接头或者粘结接头,不应采用叠合搭接。池壁所带的水槽在池壁预应力筋张拉结束之后再进行二次浇注混凝土,如附图2所示。

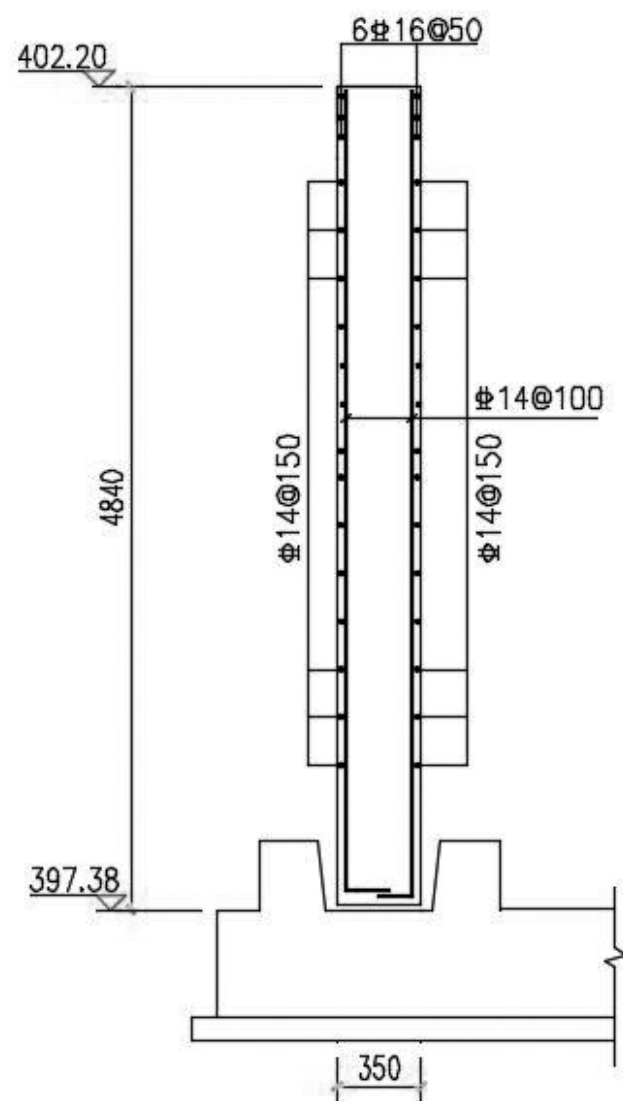


图2 终沉池池壁剖面图

#### 4 施工要点

预应力混凝土结构按施工方式分为先张法和后张法,按预应力钢筋与混凝土的粘结状况分为有粘结预应力混凝土和无粘结预应力混凝土。本工程采用无粘结预应力混凝土,在绑扎水池池壁钢筋同时,将预应力钢筋逐环固定在模板内,随

后浇筑混凝土,待混凝土达到设计强度后,利用无粘结预应力钢筋与混凝土不粘结、可滑动的特点,在两端进行张拉,再利用锚具将钢绞线固定在端部的锚固板上,用混凝土封闭锚固端,从而达到对圆形水池施加预压应力的目的。预应力钢筋张拉应委托具有相应施工资质的专业施工队伍、以保证工程质量。在施工中应注意以下施工要点:

##### 4.1 预应力钢筋

预应力筋采用带有专用防腐涂层和外包层的无粘结预应力钢绞线,钢绞线选用标准强度 $f_{pk}=1860\text{N}/\text{MM}^2$ 、弹性模量 $E=1.95\times 10^5\text{N}/\text{MM}$ 、延伸率 $3.5\%$ 、公称直径 $d=15.2\text{mm}$ 、其质量要求应符合《无粘结预应力钢绞线》JG/T161-2016和《无粘结预应力筋专用防腐润滑脂》JG/T430-2014的规定。

无粘结预应力钢筋铺设之前,应仔细检查预应力钢筋外皮破损情况,当存在局部破损时、可用水密性胶带缠绕修补,胶带搭接宽度不应小于其宽度的 $1/2$ ,缠绕层数不少于2层,缠绕长度应大于破损长度每边为 $100\text{mm}$ ,严重破损的预应力筋应予以报废。无粘粘结预应力筋在池体内定位应牢固,浇筑砼时不应出现位移和变形。为确保预应力筋定位的准确和牢固,应沿其长度方向设置定位支撑钢筋。预应力钢筋的铺设应逐根理顺、不得有扭绞现象、应平顺、平滑、平缓过渡。

##### 4.2 锚具系统

1) 锚具、夹具和连接器的性能应满足现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》(GB/T14370-2015)和《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ85-2010的规定。尤其要求静载锚固性能及疲劳锚固性能必须满足上述规范(规程)的要求。

预应力钢筋的张拉机具设备和仪表必须经校验合格之后方可进厂,并定期维修,张拉设备应

配套标定并配套使用。为减少混凝土的徐变应力损失,需待混凝土的强度达到设计强度的 $100\%$ 后方可进行预应力筋的张拉。张拉工艺采用以张拉应力为主。伸长值作为校核的方法进行,实际伸长值与理论计算伸长值偏差不应超过 $6\%$ ,否则应停止张拉,分析原因并采取措施后方可继续张拉。本工程的单端伸长值为 $107\text{mm}$ 。

2) 预应力钢筋的张拉应采用同一环内的数段预应力筋同时、同步、两端同时张拉。张拉顺序可由上至下或由下至上该隔圈张拉,以减少分批张拉时应力损失。预应力采用一次超张拉的施工工艺进行,可按下列程序进行张拉:0 初应力( $0.1\text{ con}$ )  $0.6\text{ con}$   $1.0\text{ con}$   $1.03\text{ con}$ (超张拉,持荷2分钟) 锚固。本工程张拉时的控制应力为 $\text{con}=0.70f_{pk}=1302\text{N}/\text{MM}^2$ 。超张拉 $1.03$ 时的张拉应力 $1.03\text{ con}=1341\text{N}/\text{MM}^2$ 。单根预应力筋的控制张拉力为 $N=181\text{kN}$ ,单根预应力筋超张拉时的控制张拉力为 $1.03N=186\text{kN}$ 。

3) 锚具封闭:无粘结预应力筋的封锚措施应有一套完整、可靠的防腐、防水密封装置,尤其在锚具卡片处的预应力钢筋,更要有可靠的防腐、防渗、防水的保护措施,否则将直接影响整个工程的耐久性和质量。因此,须按照图3所示的要求进行封锚,然后用同级别的微膨胀细石混凝土封闭。

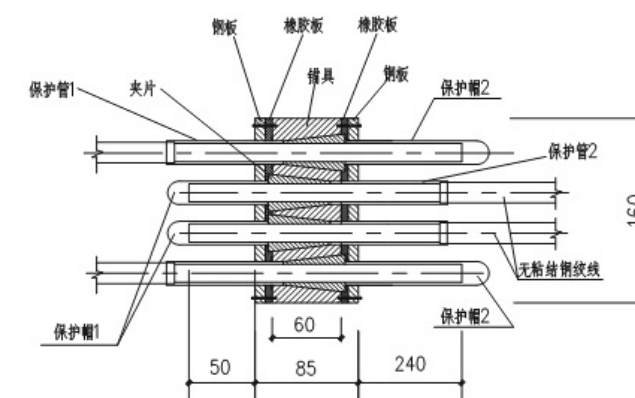


图3 封锚详图





图 4 终沉池完工图

5 成本分析

以单座水池为例，按照现浇方案，水池壁厚 500mm，而采用无粘结预应力混凝土技术，水池壁厚 350mm，壁厚降低 30%，钢筋量、混凝土量均有所降低,单座水池节约投资约 30.33 万元,详见下表。

表 1 投资概算对比表

对比方案	壁厚（mm）	混凝土量（m³）	钢筋量（t）	概算费用（万元）
现浇方案	500	1766.85	205.79	214.48
无粘结预应力	350	1662.03	162.69	184.15
节约投资量		104.82	43.10	30.33

6 结语

该水池在水厂实际应用中，经满水试验无渗漏，实际运行中亦无裂缝发生。证明，在圆形水池中应用无粘结预应力技术，在结构设计上取消了伸缩缝，解决了裂缝问题；在结构计算中解决了池壁环向拉应力作用下的强度和抗裂问题；同时使水池壁厚减少，混凝土量降低，能够做到安全可靠、技术可行、经济合理，其他工程可参考借鉴。

参考文献：

[1] 赵萍．无粘结预应力技术在大直径圆形水池中的应用

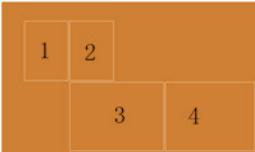
[J]，甘肃工业大学学报，2002，28(3)：101-103

[2] 赵远清，胡正修．无粘结预应力技术在消化池设计中的应用 [J]，特种结构，2002，19(4)：1-3

[3] 何德湛．无粘结预应力技术在圆形水池中的推广和应用 [J]，特种结构，2000，17(1)：109-110

[4] 张韬．钢筋混凝土与水工程结构 [M]，同济大学出版社，2008

[5] 吕志涛，孟少平．现代预应力设计 [M]，东南大学建筑工业出版社，2006



- 1、29# 楼装修效果图
- 2、砌筑工程
- 3、现场施工全景
- 4、安全施工通道



兰州新区文曲湖景园住宅小区项目设计施工总承包  
监理

该项目由 24 栋高层住宅、1 栋幼儿园、2 栋沿街配套商业（邻里中心）、1 栋指挥中心、1 栋派出所、1 栋物业用房及其配套地下车库组成。项目规划总建筑面积约 63.4 万 m²，地上建筑面积 46.7 万 m²，地下建筑面积 16.7 万 m²，总户数 3728 户。

Housing construction  
房建工程

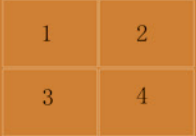
甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司

兰州新区第二小学设计施工总承包监理

该项目包括教学楼、行政楼、风雨操场及综合楼、报告厅、钟楼以及室外工程，场地位于兰州新区创智中路以南、规划路以北、文曲东路以东区域。占地面积 46226m²，总建筑面积为 35462m²。



- 1、教学楼
- 2、操场
- 3、篮球馆
- 4、礼堂







### 天水成纪新城地下净水厂工程

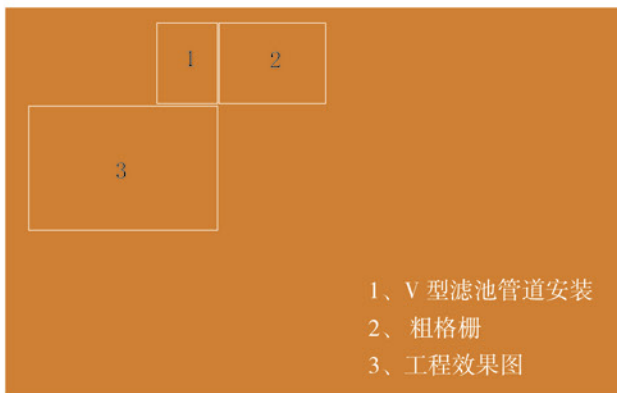
该工程位于天水成纪新城东南角，设计处理规模为  $8 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ ，地下处理池体占地约 25 亩。本工程采用当前世界最为先进的“膜生物反应器（MBR）”处理工艺，出水水质尤其是浊度等感官指标明显优于一级 A，为目前西北地区第一座全地下式污水处理厂，厂区地面部分打造为开放式景观休闲公园。



## Water Engineering

### 水厂工程

甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司



- 1、V 型滤池管道安装
- 2、粗格栅
- 3、工程效果图



### 西安市第九污水处理厂三期工程

本工程位于西安市长安区首帕张村附近，东邻电子正街，北邻西部大道，南邻皂河。总占地面积  $69.232 \text{ 亩}$ ，共计  $46154.90 \text{ m}^2$ ，分两期（近期远期）完成，近期占地面积约  $2.4 \text{ 万 m}^2$ 。建筑内容包括生产构（建）筑物：粗格栅及提升泵站、二沉池、V 型滤池及操作等，所有单体工艺设备均按照  $5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$  安装。

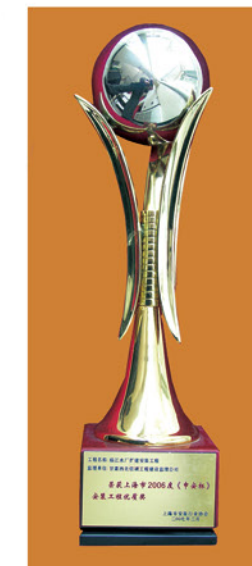
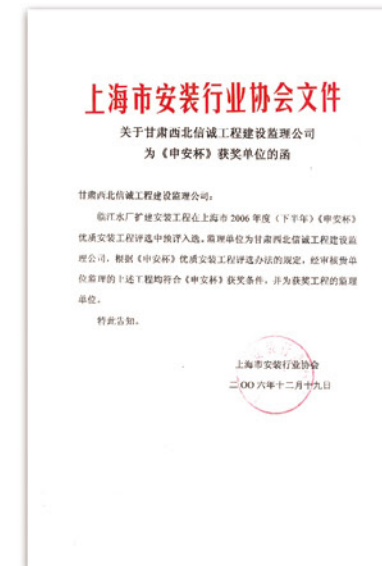


西安市第九污水处理厂三期工程效果图



### 上海临江水厂扩建工程

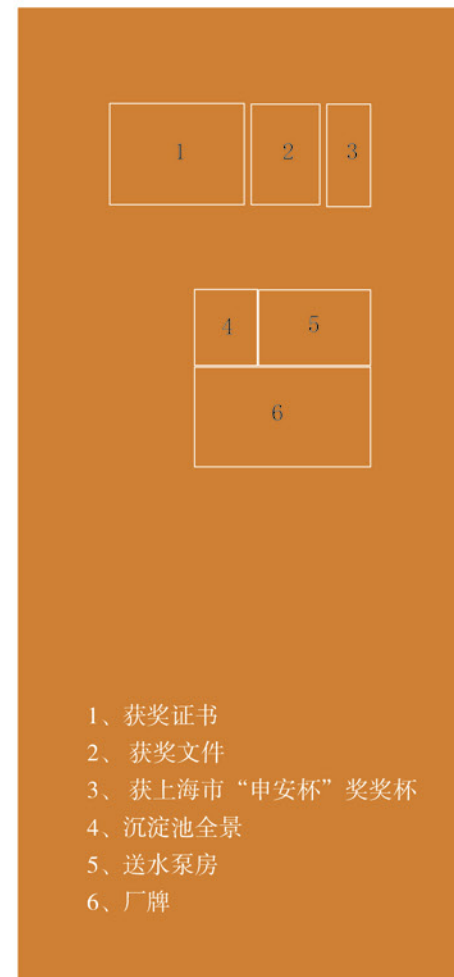
该工程采用法国工艺，由法国技术人员为主的 OTV CONSORTILM 设计联合体设计，扩建规模为日供水 20 万吨。投资 59000 万元。包含生产区和厂前区的配水井、絮凝沉淀池、刮泥池、滤池、泵房、清水池、回用水池、加药间、加氯间、综合楼、机修间、门卫、围墙、厂区道路等建（构）筑物及附属工程。



## Water Engineering

### 水厂工程

甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司



- 1、获奖证书
- 2、获奖文件
- 3、获上海市“申安杯”奖奖杯
- 4、沉淀池全景
- 5、送水泵房
- 6、厂牌





# 论钢筋混凝土结构基于耐久性的可靠度设计方法

郭 瑾

(中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 钢筋混凝土的耐久性对建筑的结构好坏起到了关键的作用, 其直接关系到建筑结构质量的好坏, 能够看到混凝土结构有关可靠度的耐久性分析是非常关键的, 基于此, 文章对此进行了全面分析。

关键词: 钢筋混凝土, 耐久性, 可靠度, 设计方式

钢筋混凝土一直是国内工程行业最为关键的结构类型, 尽管钢结构和其它结构也取得了很大的发展, 但其项目造价相对很高, 经济实用性也不是非常强。但需要注意的是, 因为钢筋混凝土结构在施工不久后会对应用功能造成影响, 进而导致许多安全方面问题的产生, 但这些问题的产生通常是因为混凝土构架的耐久性问题所造成的。

非常普遍的一种类型。所以, 硫酸根离子对混凝土的腐蚀需要得到重视。硫酸根离子对混凝土具有结晶腐蚀的作用, 消耗了水泥中的氢氧化钙, 加速硅酸盐水泥水化速度。混凝土终凝后, 硫酸根离子继续反应生成硫酸铝钙, 导致混凝土体积逐渐膨胀, 进而让其瓦解。

应用条件的影响一般是由人为因素导致的, 其中最普遍的就是化学物质对建筑结构的影响, 这种情况一般出现在化工、石化以及纺织厂中<sup>[1]</sup>。腐蚀的程度与多方面因素相关, 比如化纤加工厂会因为长时间被酸性物质影响, 而造成其酸站被破坏; 加工抓盐的工厂因为时常被抓离子侵蚀而造成结构的应用时间缩短, 此外, 动态在桥梁上面撒上化雪盐也将损坏桥梁结构, 这也是人为因素影响。

## 1.2 荷载作用的干扰

荷载对建筑结构有着非常关键的作用, 其常见的方法有两类: 一是直接对建筑结构的安全造成影响, 在结构设计的过程, 任何一点的荷载作用均比结构抗力强时, 将会导致建筑结构失效<sup>[2]</sup>。二是荷载对建筑结构产生了挤积破坏的作用, 将导致建筑的结构抗力降低, 从而导致结构的可靠性下降。荷载的累积破坏作用包括静态与动态这两种类型, 静态是指荷载影响所导致的结构损坏伴随时间而累积, 有信息显示, 当荷载作用维持不动时, 其作用

## 1 环境条件、荷载作用与原料内部条件对结构抗力的干扰

### 1.1 环境条件的影响

环境条件能够经过两种方式对建筑结构性能造成影响, 一是生态环境的影响, 二是应用环境的影响。生态环境的影响关键是经过环境中的腐蚀材料对建筑结构带来侵蚀, 而且除了空气中的腐蚀材料, 还包含部分伴随工业发展而出现的不良情况也给建筑结构带来了不良影响。空气中的腐蚀物质对建筑结构造成的影响主要有混凝土碳化、钢筋锈蚀、硫酸根离子腐蚀等类型。除了上述条件给混凝土造成损坏之外, 还包含因为物理因素所带来的损坏, 比如混凝土的冻融情况。

由于我国西部地区盐湖较多, 盐湖水中硫酸根离子含量较高, 并且盐湖地区干热, 环境恶劣, 蒸发量大。并且硫酸根离子腐蚀属于在混凝土锈蚀中



G109 线(忠和傅家窑立交至八里湾)改扩建工程  
监理

本工程位于城关区和皋兰县忠和镇, 北侧起点位于皋兰县忠和镇兰秦快速路傅家窑互通立交北侧匝道平面交叉口, 与现有 G109 线相接, 南侧终点位于兰州市城关区八里窑(北环路大沙沟立交北侧), 与现有 G109 线城关段(佛慈大街)和北环路大沙沟互通立交顺接, 道路全长 11.09km。建设内容包括道路、桥梁、排水、照明、绿化、交通及相关配套设施。

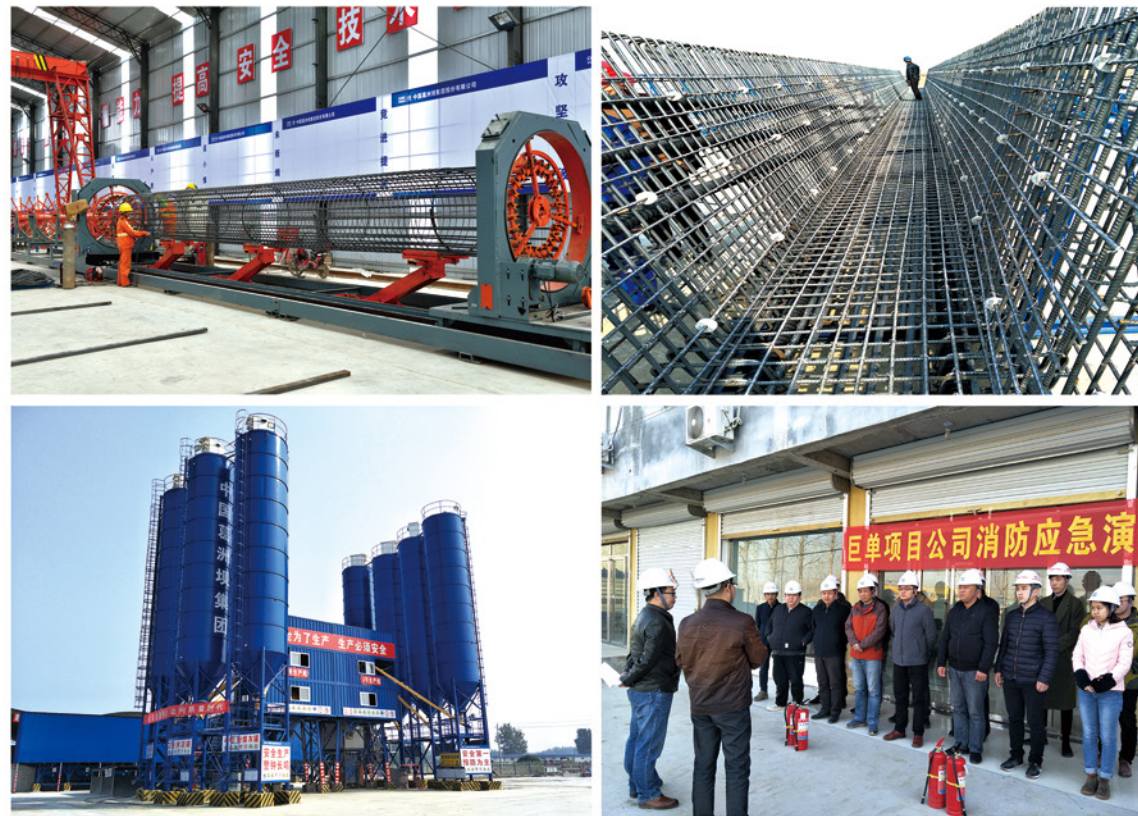
# Road Engineering

## 道路工程

甘肃中建市政工程项目管理咨询有限公司

## 山东省巨野至单县 高速公路项目管理

该项目工程主线全长 116.202km, 成武连接线长 8.720km, 单县连接线长 13.494km。全线共新设置互通立交 9 处(枢纽互通 2 处、服务互通 7 处), 服务区 2 处(巨野、单县)、停车区 1 处(成武)、养护工区 2 处、通信监控分中心 1 处。主线采用双向四车道高速公路标准, 设计速度 120km/h, 路基宽度 27m。



1  
2  
3  
4

1、钢筋笼滚焊机  
2、三分部首件箱梁钢筋

3、四分部拌合站  
4、项目公司员工参加消防演练



受力逐渐的累积，混凝土的强化将不断降低。动态累积破坏中最为显著一种就是在动态荷载影响下，造成建筑结构的疲劳，在局部范围的混凝土的冻融问题所导致的损坏也是动态积累损伤，可这里的荷载作用是由于环境温度的逐渐变化导致的。

1.3 各类腐蚀环境下钢筋混凝土结构防腐蚀措施

生态环境影响下，可以通过适当增加混凝土搅拌时间和振捣力度同时控制混凝土最大水灰比和最小水泥用量，适当掺入减水剂，减小水的含量来提高混凝土密实度，起到防腐蚀的作用。增加混凝土保护层厚度也是最基本的防止钢筋锈蚀的措施。

应用环境影响下，可以通过添加钢筋阻锈剂、环氧涂层钢筋、阴极保护、混凝土外涂层、采用高强混凝土等防腐蚀措施。添加钢筋阻锈剂要注意同时使用低渗透性混凝土，以防止阻锈剂流失。环氧涂层钢筋要注意，在复杂的交叉部位钢筋弯曲时存在较大应力，影响环氧涂层钢筋的粘合性，故不宜使用。

2 大气条件钢筋锈蚀对钢筋混凝土工程可靠性的干扰

2.1 混凝土碳化

混凝土碳化关键是因为空气中的二氧化碳逐渐深入到混凝土中，同时在其中的碱性物质出现反应，造成混凝土的碱性下降，其钢筋外表上产生的钝化膜被破坏，同时也导致钢筋与混凝土的粘合力被破坏，对其结构抗力造成因影响<sup>[3]</sup>。因此为了防止混凝土碳化，一定要做好工程的维护工作，并强化其抗渗透性与增加其维护层的厚度。混凝土的碳化环节与其处在空气中的二氧化碳的浓度，相对湿度和自己的抗碳化水平相关，在不同条件下，这些要素会出现变化，所以混凝土的碳化速度也将不同。在相同区域内，混凝土的抗碳化水平由其类型，强度与养护条件来决定，不同类型的混凝土，它的抗碳化水平也不同。当混凝土的强度增大时，它的颗粒更为紧密，抗渗透水也会增加，所以能够避免二氧化碳融入到混凝土之中，导致混凝土的碳化速度降

低。除混凝土的强度原因之外，其操作质量也将产生影响，结合信息显示，大多数的建筑项目的施工质量不好，导致混凝土的碳化速度加快，进而造成结构的钢筋腐蚀<sup>[3]</sup>。此外，对混凝土的养护也是非常关键的，若对混凝土的养护工作未做好，会导致水泥的水化不够充分，进而加快混凝土的碳化进度。同时在混凝土的外表涂刷一层保护层，也可以提高其抗碳化水平。

2.2 钢筋腐蚀

由于海水和潮湿的气体中含有很多的抓离子，其会经过混凝土的缝隙融入到里面，且遇混凝土中的碱性化合物出现反应，进而对钢筋外表的钝化膜带来损坏，经过处理钢筋的保护层而让其产生锈蚀，既钢筋锈蚀<sup>[4]</sup>。其锈蚀的重要过程为：在已经生成的钢筋外表上的钝化膜被损坏，让钢筋慢慢锈蚀，但其所出现的沉淀物逐渐膨胀，造成混凝土产生裂缝，也进一步加快了钢筋的锈蚀，在钢筋锈蚀以后，其力学性能会改变，经过试验表明，当钢筋的锈蚀水平增大时，其疲劳轻度，抗拉水平和延展均会降低。锈蚀的基础条件是要氧气与水分，因此在海洋环境下的混凝土工程的钢筋锈蚀情况表现的更加严重。特别是部分抗渗透水平较差，保护层厚度很小的混凝土框架中的钢筋极易被锈蚀<sup>[5]</sup>。此外，当锈蚀物质逐渐膨胀后，造成混凝土产生开裂情况，其表面上的保护层大面积的脱掉，造成钢筋的锈蚀问题更加严峻。

3 结语

混凝土构架的耐久性对建筑结构起到了非常关键的作用，所以文章从上述几个方面来解析了混凝土框架的耐久性，为此总结出了以下几点有效的措施：首先，对环境条件，混凝土强度给钢筋结构带来的不良影响展开研究，并列举出了研究混凝土结构的可靠性方式。其次，研究了混凝土经济优化措施，同时对协调结构设计 with 养护问题展开了研究。

（下转 10 页）

浅谈污水处理厂 AVS 精确曝气自动控制系统

王 茜

（中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000）

摘 要：针对污水处理厂进水负荷的波动性及时变性等原因造成的溶解氧波动较大、曝气能耗高、出水水质不达标等问题，浅谈 A2O 污水处理工艺中 AVS 精确曝气系统的全自动过程控制方案。通过 AVS 精确曝气系统的实施与运行，将鼓风机纳入到曝气控制的闭环内，实现了鼓风机、曝气管道以及调节阀门、溶解氧之间的闭环控制，从曝气源头上实现了生物反应池按需曝气。该方案有效降低了鼓风机能耗、提高了出厂水水质。对全厂节能降耗具有积极意义。

关键词：污水处理；自动化控制；精确曝气控制

1 引言

AVS 精确曝气自动控系统是一套集成的智能控制系统，为污水处理过程提供精确的曝气解决方案。控制过程的基础是建立对应的生化需氧模型。通过对工程规模及水质要求的特点进行研究分析，确定工程特性，建立仿真模型。通过建模计算得出不同环境情况下需要的氧气量，按照该气量需求进行精确控制。根据在线数据的前馈数据和后馈数据，进行建模计算。

2 AVS 精确曝气自动控制系统

2.1 AVS 精确曝气自控控制系统概述

物反应池中微生物消耗 DO，为了使生物反应池中的 DO 达到平衡状态，可以采用生物反应池精确曝气控制 DO 含量，微生物消耗 DO 的同时，去除水中的有机碳、总磷、总氮等。

由于在污水处理的过程中，有许多不定因素影响，如水质及水量变化具有非线性，生物反应池微生物的数量也随时间和温度发生着变化，检测仪表有具有滞后性等，所以在不同时间生物反应池的耗氧量是不一样的，为了达到国家指定的出水标准，AVS 精确曝气系统采用预设前馈信号，根据反馈信

号调整设备的方式，实现自动控制来保证氧气的供求平衡。通过精确曝气，可以使污水处理效果更好，使曝气更充分，节省能耗。

控制过程的基础是建立对应的生化需氧模型。通过对工程规模及水质要求的特点进行研究分析，确定工程特性，建立仿真模型。其次通过建模计算得出不同环境情况下需要的氧气量，按照该气量需求进行精确控制。

2.2 AVS 精确曝气控制原理

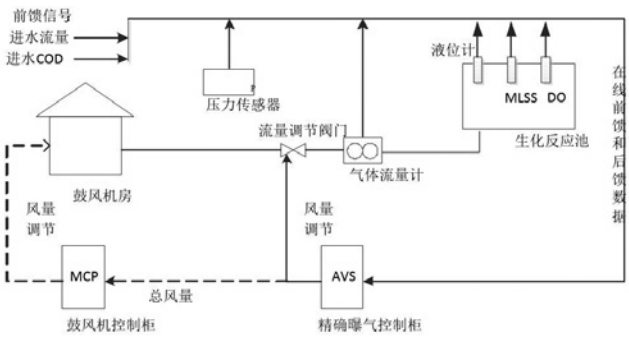


图 1 AVS 精确曝气系统控制原理图

AVS 精确曝气根据在线数据的前馈数据和后馈数据，进行建模计算。前馈数据即进水量、进厂水水质，当前馈数据与水文资料提供的数据发生明显偏差时，模型自动提前进行反操作；后馈数据即生物反应池上的溶氧仪、MLSS 计、液位计、温度计、

热质式流量计等，精确曝气系统会对后馈数据实时监测，以确定控制效果。AVS 精确曝气系统为多参数控制模型，对多个采集信号进行响应。为了应对现场采集信号中的失真和噪声干扰，由数据预处理软件对选定输入量进行预处理。在特定仪表故障状态下，系统会自动根据稳态模型生成伪输入信号，在总体运行状态不变的情况下（当进水水质水量变化不大时，其它环境因素在短时间内可以认为是不变的），依然可以根据稳态模型进行适当的调节。

在电动流量调节阀完全打开时，压力损失相对较小。压力损失与开度成反比。为达到优化和节能的目标，需增大开度，平衡流量调节性能与空气压力损失，并给出鼓风机允许的最小输出压力。液位是控制过程中的另一个要素，较低的液位对应着曝气口的低压，气体将从低压区释放，使高液位供气不足。

当进厂水水质突然发生变化时，根据水流的速度计算出污水到达生物反应池的时间，系统提前设置曝气量，使生物反应池曝气量达到微生物活性要求，满足处理能力。

微生物活性与温度密切相关，当温度较高时，微生物活性强，需氧量增大，当夏天时，由于环境温度的升高，生物活性大大加强，精确曝气系统根据环境温度，重新设定曝气量，以满足生物活性需求。

当污泥含量增加时，微生物需氧量增加，导致生物反应池内 DO 降低，系统则根据 MLSS 计上传的数据增加曝气量。

当曝气头发生堵塞或故障时，曝气量会降低，系统会自动调整曝气量。每隔 1 年需对系统模型的控制参数进行重新标定，以期获得更佳的控制效果。

AVS 控制系统可以根据不同情况解决总气量调节和每个曝气池的气量均衡调节的问题。AVS 控制系统还可以对单个曝气池的 DO 进行控制，AVS 也可进行分区气量调节。

2.3 AVS 精确曝气控制系统组成及作用

AVS 精确曝气系统主要包括鼓风机控制、空气流量控制、调节阀控制以及检测仪表控制等一系列曝气系统核心设备模块，为鼓风机曝气系统提供精确的自动化曝气。

AVS 精确曝气系统是一个集成的控制系统，以气体流量为主控信号，溶解氧作为辅助控制信号，其系统软件主要由 BAM 生物需气量计算模块，DPM 数据处理模块、BCM 鼓风机调节模块和 ADM 空气流量分配模块组成。

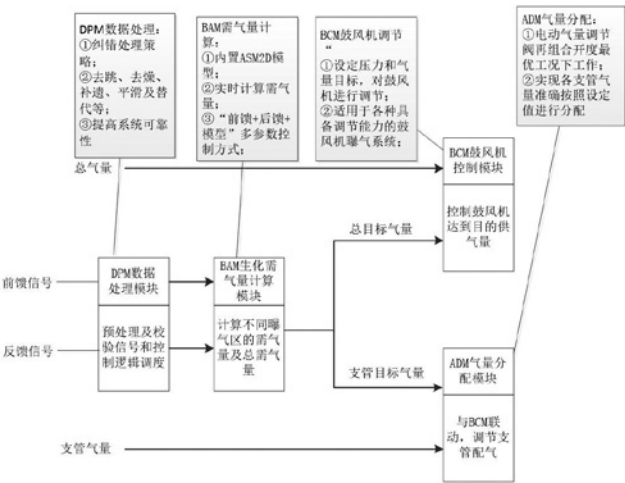


图 2 AVS 系统控制模块功能示意图

1) BAM 需气量计算模块

能够根据进水水质和水量的变化及生物反应池中更多因素的变化动态地计算出实际需气量，可以使曝气系统根据实际需气量变化供气。

2) BCM 鼓风机调节模块

AVS 精确曝气系统采用鼓风机主控柜 MCP（Master Control Panel），根据实际情况计算出所需曝气量，建立模型，利用其分配与控制系统，控制鼓风机的启、停、导叶开度以及池内气动阀门，实现气量调节控制。避免了当排水高峰时气量的不足和排水低谷时气量过剩，实现了精确曝气，MCP 采用总压方式对各个鼓风机进行控制。鼓风机系统动态压力控制模式中系统动态压力设定是根据压力控制器实时计算鼓风机系统设定压力与实际压力给定鼓风机系统 MCP，MCP 根据本次设定值与实际值控制在控制序列里的各鼓风机开启、导叶调节逻辑，

以此满足精确曝气系统对压力的调节需求；压力控制器对压力实际值和设定值的计算主要是依据各阀门开度变化、管压损耗、曝气总管 3 个测点压力实际值、总需气量等计算出的虚拟实际压力和设定压力。

3) ADM 空气流量分配模块

污水厂的曝气系统是一个互联的复杂管路系统，调节其上任何一个流量单元都会对其他流量单元造成影响。气量分配通常通过控制电动调节阀的开度对各个曝气量进行调整，阀门开度的调整需要和鼓风机的流量及压力调节结合。精确曝气需要精确地调节阀门，首先要粗调阀门，根据气量曲线和所需气量等设定阀门的开度；再进行微调，根据需气量，以 PID 的方式精确调节阀门。粗调的目的就是理由开度曲线，求解出能供应所需气量的阀门开度，然后将该阀门开度值输入给阀门的电动执行机构，使其操作阀门到所需的开度。通过 PLC 将该开度信号发送到阀门的电动执行机构，电动执行机构执行命令，操作阀门的阀杆，使得阀门将处在开度下，完成阀门的粗调。

4) DPM 数据处理模块

采用在线控制空气流量的方法，将曝气控制系统中的溶解氧测量仪放置在曝气池内测量其曝气池内的溶解氧；将带有行程开关控制机构的气体流量调节阀放置在通入曝气池内的曝气管道上用于控制空气流量；在气体流量调节阀输出端的曝气管道上安装气体流量检查设定的空气流量和实际的空气流量；在溶解氧测量仪与带有行程控制机构的气体流量调节阀之间加入曝气池空气流量计算模块；用空气流量计算模块计算的空气流量值配合鼓风机设定压力值控制气体流量调节阀的开度和鼓风机的压力。该系统采用上下位机相结合的控制方式。其中上位机中包括空气流量计算模块用于计算最优的空气流量值，中间数据库用于存放计算结果

并传送给下位机，同时存放在线仪器采集的计算所需要的各及时参数值并将这些及时参数值传送给空气流量计算模块。下位机包括 PLC 逻辑控制部分。在溶解氧控制系统中，检测生物反应池中的 DO 值并传送给 PLC 内的进行计算，同时，PLC 接收到此时的鼓风机送入空气量，管道中的实际空气量，进水流量，曝气池污泥浓度等参数后再进行计算，并输出计算结果，控制曝气量，从而实现生物池的精确曝气。

3 结语

据精确曝气控制的原理，采用溶解氧曝气量控制回路。系统实时采集诸如进水流量、进水 COD 等的前馈信号，安装在精确曝气柜内的工控机上的模拟软件对前馈信号进行处理，并精确计算溶解氧所需的曝气量；精确曝气控制柜随后将该需气量发送到鼓风机组的 MCP，由 MCP 对鼓风机进行调节，从而产生所需的气量；然后通过调节电动流量调节阀，将各个控制单元所需的气量配送到生化池上的各控制单元；此外，在生化池各控制单元处还设置有溶解氧仪，读取其信号作为反馈信号，可以通过电动流量调节阀、气体流量计的协同调节进行反馈控制，以将溶解氧稳定在其设定值附近。该控制思路具有：按需供气、鼓风曝气环节联动、根据 DO 反馈控制的特点。

参考文献：

[1] 李鑫玮，高永青，杨岸明．污水处理厂精确曝气节能系统的开发及应用研究 [R]．厦门：中国土木工程学会，2013

[2] 李建勇，王建华，范岳峰．曝气流量控制系统用于污水处理厂节能降耗 [J]．中国给水排水，2007(12):80-84

[3] 邓刚，孔生．试论精确曝气控制系统在污水厂的应用题 [J]．科技与企业，2013(18)：358-358



# 电化学保护法防止金属管材腐蚀的运用

刘光耀

（中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000）

摘 要：金属管材的腐蚀所造成的危害非常严重：金属管材的腐蚀不仅会造成巨大的经济损失、资源和能源的严重浪费，而且还会污染人类赖以生存的自然环境，甚至会引发灾难性事故。因此，如何有效防止金属管材的腐蚀成为一个尤为重要的探索课题。根据金属管材在给排水工程中的实际应用情况进行分析，探索了电化学保护用于金属管材防腐的解决思路与对策。

关键词：金属管材；腐蚀；电化学腐蚀；电化学保护；阳极保护；阴极保护

腐蚀是金属管材的变质现象，其表现方式有生锈、坑蚀、结瘤、开裂或脆化等。金属管材与水或潮湿土壤接触后，因化学作用或电化学作用产生的腐蚀而遭到损坏。按照腐蚀过程的机理，可分为没有电流产生的化学腐蚀，以及形成原电池而产生电流的电化学腐蚀（氧化还原反应）。给排水金属管网在水中和土壤中的腐蚀，以及流散电流引起的腐蚀，都是电化学腐蚀。

## 1 金属管材的电化学腐蚀

金属管材的电化学腐蚀原理在本质上与熟知的铜 - 锌原电池是一样的，这种引起金属管材腐蚀的原电池，叫做腐蚀原电池。

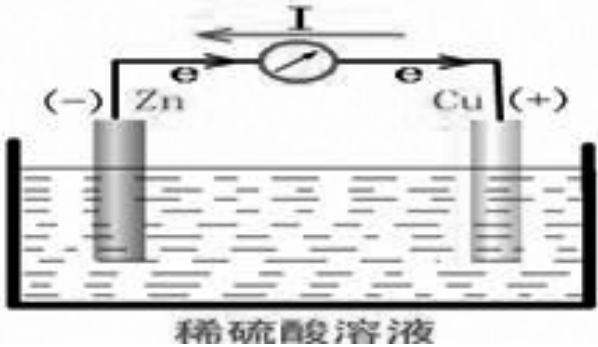
腐蚀原电池：只能导致金属管材破坏而不能对外界做功的短路原电池。

### 1) 腐蚀电池的发生条件

- 化学成分不均一，含有各种杂志和合金元素；
- 存在组织结构不均一；
- 物理状态不均一；
- 表面氧化（保护）膜不完整。

### 2) 腐蚀电池的构成

阳极  $Zn: Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ （氧化反应）  
阴极  $Cu: 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ （还原反应）



### 3) 腐蚀电池的特点

腐蚀原电池的阳极反应是金属的氧化反应，结果造成金属管材的破坏；

腐蚀原电池的阴极、阳极短路（即短路的原电池），电池产生的电流全部消耗在内部，转变为热，不对外做功；

腐蚀原电池中的反应是以最大限度的不可逆方式进行。

### 4) 形成腐蚀电池的原因

腐蚀电池在形成过程中主要受到金属自身因素、外部环境因素两方面的影响。

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 金属方面(内部因素): | 环境方面(外部因素): |
| 成分不均匀；      | 金属离子浓度差；    |
| 组织结构不均匀；    | 氧含量的差异；     |
| 表面状态不均匀；    | 温度差异；       |
| 应力和形变不均匀；   | 湿度差异。       |

热处理差异。

在克服并解决了金属自身的因素后，如何避免外部环境因素的影响就显得尤为重要了。环境的差异性对金属管材腐蚀速度的影响非常明显，如温暖潮湿、空气含有海水（香港浅水湾），则腐蚀速度较快；而气候炎热、干燥（撒哈拉沙漠），则腐蚀速度缓慢。下面将在多种环境类型下对金属管材腐蚀速度进行对比。

表 1 多种环境类型下金属管材腐蚀速度对比表（mm/a）

环境类型	大气工业地域	乡村地域	纯水	盐水	土壤
腐蚀速度	0.15	0.03	0.075	0.11	0.05

## 2 金属管材的防腐措施

采用非金属管材，如预应力或自应力钢筋混凝土管、玻璃钢管、塑料管等。

在金属管材表面上涂油漆、水泥砂浆、沥青等，以防止金属和水相接触而产生腐蚀。例如可将明设钢管表面打磨干净后，先刷 1~2 遍红丹漆，待干后再刷两遍热沥青或防锈漆；地埋钢管可根据周围土壤的腐蚀性，分别选用各种厚度的正常、加强和特强防腐层。

将金属管材内溶液的 pH 值范围调整至 pH=8~13，可使金属管材进入钝化区，以防止腐蚀。

阴极保护。采用管壁涂抹保护层的方法，并不能做到非常完美。这就需要进一步寻求防腐措施。阴极保护是保护金属管材的外壁免受土壤侵蚀的有效方法。根据腐蚀电池的原理，两个电极中只有阳极金属发生腐蚀，所以阴极保护的原理就是使金属管材成为阴极；通过将金属管材的电极电位降至非腐蚀区，从而对金属管材进行阴极保护，以防腐蚀。

阳极保护。要避免金属管材腐蚀，就不能使金属管材的状态点进入腐蚀区，将金属管材的电极电位升高（可在溶液中添加阳极型缓蚀剂），使金属管材进入钝化区，以防腐蚀。

## 3 电化学保护的比较

电化学保护是根据金属管材电化学腐蚀原理对金属管材进行保护的一种有效方法。按照作用原理的不同，将电化学保护分为阴极保护和阳极保护两类。

### 1) 阴极保护

用一定的方法使被保护的金属管材发生阴极极化以减小或防止其腐蚀的方法称为阴极保护。实现阴极保护的方法通常有两种：

外加电流的阴极保护。将被保护的金属管材与直流电源的负极相连，埋在管线附近的废铁和直流电源的正极相连，进行阴极保护。此法在土壤电阻率高（约 2500  $\Omega \cdot cm$ ）或金属管材外露时使用较宜。

牺牲阳极的阴极保护。在被保护的金属管材上连接一个化学性质更活跃—还原性较强的金属（如钢管连接铝、镁、锌等材料），使被保护的金属管材发生阴极极化，这种方法称为牺牲阳极的阴极保护（也称为牺牲阳极保护）。这种方法常在缺少电源、土壤电阻率低和金属管材涂层良好的情况下使用。

使用阴极保护时应考虑以下几方面的问题：

- 腐蚀介质是电解质溶液时，能够离子导电；
- 被保护的金属管材在其腐蚀介质中易于阴极极化；
- 钝态金属管材不宜采用阴极保护；
- 结构、形态复杂的金属管材不宜采用阴极保护；
- 由氢脆敏感性材料制作而成的金属管材不宜采用阴极保护。

### 2) 阳极保护

将被保护的金属管材进行阳极极化，使其由活化态转为钝化态，从而减小或防止其腐蚀的方法称为阳极保护。

阳极保护适用于那些电位正移时，金属管材在所处的介质中有钝化行为的金属 - 介质体系；否则

阳极极化非但不能防止腐蚀，还会加速腐蚀。

阳极保护的使用条件与特点：

某些活性阴离子含量高的介质中不宜采用阳极保护。因为这些活性离子如 Cl<sup>-</sup> 在高浓度下能局部地破坏钝化膜并造成孔蚀；

与阴极保护一样，阳极保护也存在遮蔽效应，若阴、阳极布局不合理，可能造成有的地方已钝化，有的地方过钝化，有的地方尚处在活化态；

与阴极保护相比，成本高、工艺复杂（因为阳极保护需要辅助阴极、直流电源、测量及控制保护电位的设备）。

3) 阴极保护与阳极保护的比较

阴极保护和阳极保护都属于电化学保护，适用于保护处于电解质溶液中的金属设备，但它们又有各自的特点。

从原理上讲，任何金属管材都可实施阴极保护（有负保护效应者除外）。阳极保护则是有条件的，它只适用于金属 - 介质体系具有钝化行为的金属设备的保护，否则会加速腐蚀。

阴极保护时，保护效果取决于阴极极化的程度，极化电流不代表腐蚀速度的大小。阳极保护时，必须通过阳极极化建立钝态，极化电流的大小能反映腐蚀速度的快慢。

阴极保护时，电位的偏移只会影响保护效果，不会造成腐蚀速度的显著变化（自钝化金属除外）。阳极保护时，电位的偏离可能造成腐蚀速度加快。

当介质具有强氧化性时，采用阴极保护需要强电流阴极极化。采用阳极保护时，由于钝化膜建立容易，易于进行阳极保护，且效果较好。

阴极保护时，析氢反应对具有氢脆敏感性的金属管材造成氢脆的可能性。阳极保护时，析氢发生在辅助阴极上，被保护金属管材不会产生氢脆的可能性。

阴极保护时，辅助电极是阳极，在强氧化性介质中容易腐蚀，选择合适的阳极材料尤为关键。阳极保护时，辅助电极是阴极，其本身就处于被保护状态。

综上所述，与阳极保护法相比，阴极保护法应用范围更广、投资更低、工程实施措施性更强、防腐效果更好。

4 结语

随着金属管材涂层工艺水平的日益提升，并结合金属管材在国内给排水工程中的实际应用情况，由于外加电流的阴极保护法需要外接电源，且要求土壤有较高的电阻率，因此，金属管材的电化学防腐措施广泛采用以牺牲阳极保护的阴极保护法为主，外加电流的阴极保护法为辅，同时运用均压、排流、绝缘等辅助手段联合保护，最终实现金属管材的防腐目的。

参考文献：

[1] 严煦世 范瑾初. 给水工程 [M]. 中国建筑工业出版社, 1999.

[2] W. v. 贝克曼. 阴极保护手册 [M]. 化学工业出版社, 2005.

[3] 邓书蕾. 埋地复杂管网阴极保护方法选择 [J]. 中国新技术新产品, 2008, NO. 11: 62.

光导照明系统在市政工程节能设计中的实际应用

杜 望 尹旭平 谢佳奇

（中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000）

摘 要：光导照明系统也称为无电照明，是一种把自然光引入室内的新型照明装置，近年来该系统被广泛应用于各类工程设计。本文作者结合近期设计的污水厂改扩建工程实例，从照明设计角度对光导照明系统的实施进行了论述，并针对投资经济、节能减排等指标与传统电力照明进行了比较，从而探索该新型照明系统的社会推广价值，以期为类似的工业厂房及建筑项目的设计提供有益参考。

关键词：光导照明系统；光导管；建筑节能；绿色照明

1 引言

市政工程的实际效果直接关系到我国的能源建设，对于城市建设和发展具有重要的意义，但市政行业同时也是能耗较大的行业之一，加强节能设计的有效应用，促进市政工程设计科学性和有效性，对建设资源节约型社会有着重要意义。作为电气设计人员，在遵循节能环保原则的基础上，积极推广节能减排新技术、新产品，对节能技术进行合理的应用迫在眉睫。

2 光导照明系统在工程设计中的应用实例

2.1 兰州七里河安宁污水处理厂改扩建工程概况

1) 现状兰州七里河安宁污水处理厂由我单位完成设计并已投入使用十余年，今年我单位承接对其改扩建的设计任务，工程近期 2025 年处理规模：30 万 m<sup>3</sup>/d，总占地面积：108211.0m<sup>2</sup>，主要生产性构（建）筑物为新建的埋地式钢砼箱体一座，全部生产工艺设备迁至地下，地下钢砼箱体为生产工艺综合构筑物，内含粗格栅及提升泵房、细格栅及曝气沉砂池、初沉池及膜格栅、MBR 生物池、MBR 膜池、膜设备车间、鼓风机房、回用水泵房、UV 消毒间、接触池、储泥池、污泥处理车间，以

及附属的除臭间、变配电间、消防水池及泵房、机修间等。目前该项目正处于初步设计阶段。

2) 以兰州七里河安宁污水处理厂改扩建工程地下生产车间 B 区地下一层部分为例进行分析，局部截取横向 2-9 轴至 2-17 轴止，纵向截取 3-1C 轴至 2-Y 轴止，截取区域长 66.4m，进深 24.0m，梁底距离负一层地面高度为 5.8m（7.0m-1.2m），梁板厚度为：1.5m（1.2m+0.3m），覆土厚度：2.0m，建筑面积：66.40×24.0-7.0×8.0=1537.6m<sup>2</sup>。

2.2 照明设计依据及照明标准

1) 《建筑采光设计标准》GB50033-2013；  
《建筑照明设计标准》GB50034-2013；  
《导光管采光系统技术规程》JGJ/T374-2015。

2) 照度计算依据《建筑照明设计标准》GB50034-2013，第 6.4.2 条明确规定：“当有条件时，宜利用各种导光和反光装置将天然光引入室内进行照明”。同时，根据表 6.3.13，公共和工业建筑非爆炸危险场所动力站、泵房功率密度限值 4W/m<sup>2</sup>，照度标准值 100lx。

2.3 照度分析及光导照明数量的确定



### (1) 初步估算

本次改扩建工程设计光导照明系统选用型号DS750产品,依据上述照度标准进行光导照明设计,依据基本公式变型 $n = \frac{E_{av} \times l \times b}{MF \times CU \times \Phi_u}$ ,初步估算系统布置数量为: $n=100lx \times [(66.4m \times 24m) - (7m \times 8m)] / (0.8 \times 0.9 \times 4835.11lm) = 44$ 套。

### (2) 论证验算

1) 按导光管适用类型划分,DS750产品主要用于厂房,该型号导光管直径为750mm;长度为4000mm;采光罩的可见光透射比 $\tau_1$ 为0.88;漫射器的透射比 $\tau_2$ 为0.89。计算光导管的等效长度 $M=L/D=4000/750=5.33$ ,根据照明设计手册表5-30,当光导管反射比为0.99, $M=5.33$ 时,按内插法计算TTE,TTE=0.93。光导管系统效率 $=T1 \times TTE \times T2=0.88 \times 0.93 \times 0.89=0.728$ 。

2) 根据照明设计手册,本项目地处光气候III区,室外天然光设计照度值 $E_s=15000lx$ ;表5-31确定光导管有效截面积 $A_t$ 为 $0.44m^2$ ,

$$u=E_s \times A_t \times =15000 \times 0.44 \times 0.728=4804.8$$

(lm);

$$3) \text{ 计算室空间比 } RCR, RCR = \frac{5h_s(l+b)}{l \times b} = 5 \times 5.8 \times (66.4+24) / 66.4 \times 24 = 1.645;$$

根据表5-27、表5-28,CU取值0.93,MF取值0.8。

4) 为计算方便,一些厂家根据产品直径分类,并按光气候分区计算出了输出光通量 $u^1$ ,加以归纳成表格,直接供设计采用,免去了上述 $u$ 的计算步骤。在这里,我们查手册表5-32直接获取 $u=4835.11(lm)$ 。

$$5) \text{ 据此, } E_{av} = \frac{n \times \Phi_u \times CU \times MF}{S} = 43 \times 4835.11 \times 0.93 \times 0.8 / 1537.6 = 100.60(lx) > 100lx。$$

6) 在局部截取区域内系统布点如图1所示,各系统设计间距6.0米左右,最终在该区域内布置43套。(仍需和通风管道等专业设备进行进一步综合及协调)

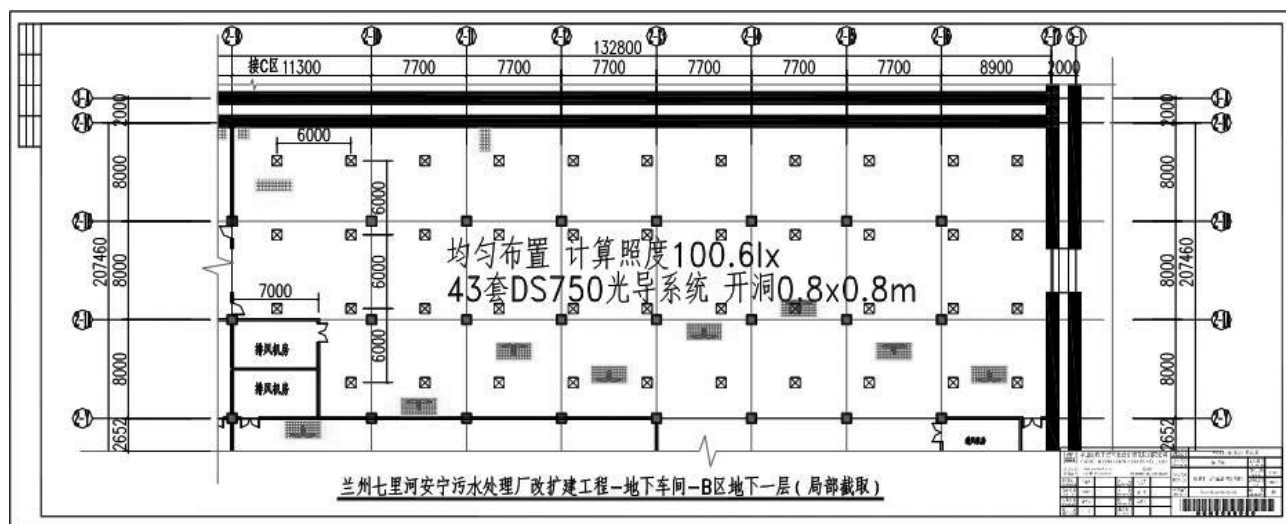


图1 区域光导布点图

## 3 投资及节能分析(经济分析)

### 3.1 光导照明系统初始投资及维护

1) 以兰州七里河安宁污水处理厂改扩建工程为例,采用“等距分布”的布置原则,在局部截取区域1500平米设置43套光导照明,每套市场价格

约2050元。该截取区域仅占地下钢砼箱体总面积的五十二分之一,光导照明系统总投入费用约:43套 $\times$ 52 $\times$ 2050=458.38万元。

2) 光导管系统从安装使用开始便属于一次性投资,不需要更换仅需常规清洁保养,使用寿命长,

正常情况下大于等于30年。

### 3.2 普通照明灯具初始投资及维护

1) 该工程若使用传统电力照明系统设计,布点如图2所示。平均照度( $E_{av}$ )=光源总光通量( $N \times$ )

$\times$ 利用系数( $U$ ) $\times$ 维护系数( $K$ )/区域面积( $m^2$ ),若采用工厂直杆灯,1x150W NG高压钠光源26套,取灯具维护系数 $K=0.7$ ,利用系数 $U=0.59$ ,其平均照度 $=26 \times 15000 \times 0.59 \times 0.7 / 1537.6 = 104.75Lux$ 。

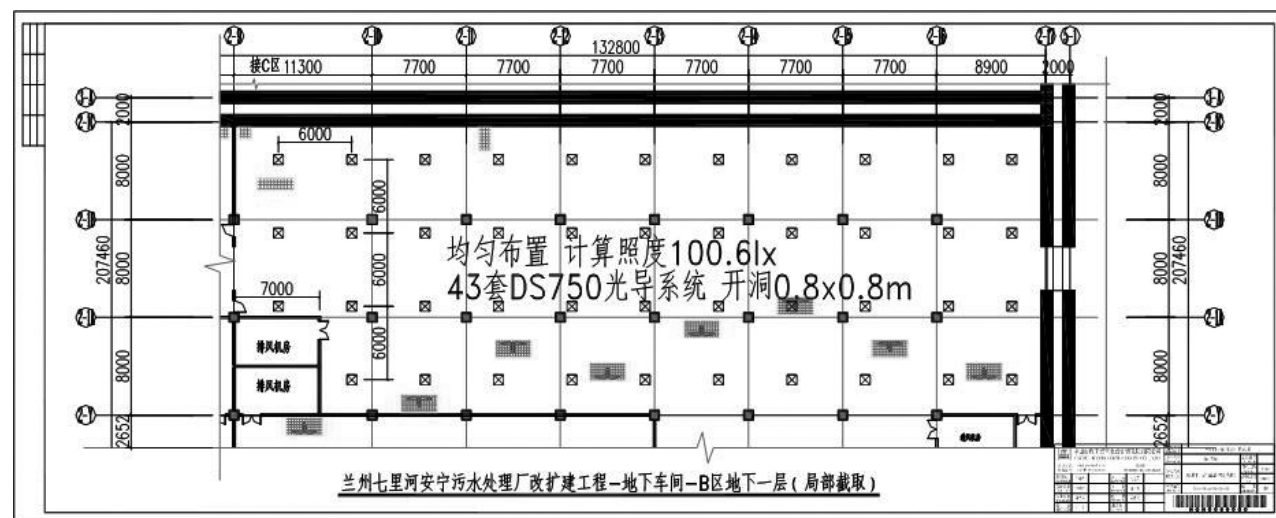


图2 区域灯具布点图

2) 根据国家标准规定的照明灯具寿命,电力照明灯具及光源平均每三年更换一次,依照经验,高压钠灯更换频率更高。若安装费用每套灯具200元计算,整个地下钢砼箱体共安装26 $\times$ 52=1352盏,费用总计27.04万元,加之维护费用,投资在40万元左右。

### 3.3 电费节省

#### 1) 大工业用电电价标准

污水厂按大工业用电执行“二部制电价”,两部制电价由基本电价、电度电价和功率因数调整电费三部分构成。本例中年电度电价按平时段用电费率0.72元/千瓦时。

#### 2) 节省费用

兰州七里河安宁污水处理厂改扩建后为全地下式结构,使用光导照明系统后,由此替代本应由白天提供的电力照明,光导照明系统提供白天约12小时的照明,即节省约12小时的照明电费。节省电费计算如下:年节省照明耗电电度电费为26 $\times$ 52 $\times$ 0.15 $\times$ 12 $\times$ 365 $\times$ 0.72=639550.08元。

### 3.4 导光管相对普通灯具投资回收期

由上述案例可知,导光管同高压钠灯相比,投资回收期=(导光管投资-市电灯具安装费用)/(运行电费+市电灯具维护费用),即(458.38-27.04)/(63.9+13)=5.61年。

### 3.5 静态投资回收期

本次工程设计中,无论有无光导照明系统,必须消耗639550.08元电费,即夜间电耗,应用光导照明系统后,节省白天电耗开支,光导照明系统静态投资回收期=光导系统投入/节省电费=458.38/63.9=7.17年

### 3.6 经济效益

通过以上计算,当项目初期投资经回收资金后,每年将给污水厂节省约64万元的电费成本,并在相应节能减排要求的同时,还在同行业中起到了示范作用。

### 3.7 节能减排

目前我国以火力发电为主,火力发电使用的燃料基本为煤炭。按照国家相关标准,每节约1万千

瓦时电，就相应节约了 1.229 吨标准煤。本次分析案例中，应用光导照明装置每年可节约用电 88.83 万千瓦时，相应可节约 109.17 吨标准煤。因减少了相应火力发电量，由此光导照明系统的应用同时减少了有害气体等污染物的排放。

3.8 健康安全分析

1) 绿色健康的新能源

光导照明系统相应国家政策号召，充分利用太阳能资源，加以人工因素传输自然光线，自然光线具有全光谱、无频闪和炫光等特点，拥有比照明灯具更好的视觉效果，从而减少疲劳和灯光引起的各种疾病，提高了工作效率。

2) 安全可靠的新能源

因减少了相应火力发电量或其他电力能源消耗，从而减少了用电期间的危险因素。另一方面，市政工业厂房中多使用高压钠灯，其中存在的金属卤化物对人体的健康有着一定的威胁。光导照明系统构件全部采用环保要求的材料，使用寿命长，且对人体无害。

4 结束语

光导照明系统充分利用自然光线，有效的减少了白天照明电力能耗，是一种绿色健康、节能环保的新型照明系统。可广泛应用于各类工业建筑、公共建筑等。本文通过在设计实例中应用，进一步论证了其能取得良好经济效益和社会效益的潜质。但由于光导照明系统的前期资金投入较大，投资回收期较长，广大建设单位接受并使用该新型节能照明系统的程度各异，尚需相关节能部门、生产可研厂商、设计院的宣传与推广。

参考文献：

[1] 北京照明学会照明设计委员会．照明设计手册 第三版 [J]．中国电力出版社．2016(12)

[2] GB50033-2013,《建筑采光设计标准》[s].

[3] GB50034-2013,《建筑照明设计标准》.

[4] JGJ/T374-2015,《导光管采光系统技术规程》.

(上接第 57 页)

通过软件，可以得到空间管道固定支架的受力，根据表 3，管道分支处，主干管的固定支架受力远大于直管段固定支架受力，因此在设计应特别注意管道分支处固定支架的设计，以保障供热管道的正常使用。

6 结论

综合管廊内供热管道时宜采用压力平衡型波纹补偿器、平衡型套筒补偿器；结合计算数据及工程实际给出活动支架、固定支架参考间距。通过

START 软件，针对管道分支处，计算分析固定支架受力，对工程设计具有重要的参考意义。

参考文献：

[1] 《城市综合管廊工程技术规范》GB50838-2015

[2] 《城镇供热直埋热水管道技术规程》CJJ/T81-2013

[3] 《室外热力管道安装》03R411-1

[4] 《地上和管沟敷设供热管道的受力分析与计算》，王秀全

[5] 《供热工程》，贺萍、孙刚

谈低压电力电缆载流量的软件计算

钱中阳

(中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000)

摘要：针对在工程设计与施工中广泛应用的 YJV-1kV 多芯电力电缆的载流量计算问题，本文介绍一种电缆载流量软件计算方法，其运用电子表软件 EXCEL 的数值计算、逻辑判断和数据查找等函数功能，依据最新出版的相关国家规范及设计手册中的数据，确定相对应的温度校正系数及降低系数，计算实际载流能力。运用软件能准确统一地计算电缆载流量，方便电气设计人员快速准确地完成 YJV 电缆的选型。最后，本文探讨了几个有关电缆载流量软件计算的技术问题。

关键词：YJV-1kV；多芯电力电缆；载流量；电缆选型；数据查找函数；电子表格软件 EXCEL；土壤热阻系数；表面传热系数

1 引言

在电气工程设计中电力电缆的选择要求满足工程实际需求及相关规范要求，准确选择电缆截面的前提条件之一是正确计算电缆的载流量。目前市面上的电气设计计算软件虽具有强大的辅助计算功能，但这些功能有局限性，通常确定电缆载流量，必须输入基础数据，选取大量的参数，计算正确的载流量。每次计算都要反复经过同样的步骤才能获得计算结果，耗费大量时间，且结果多为孤立，不便于后期统计和整理。

本文介绍一种电缆载流量软件计算方法，其运用电子表格软件 EXCEL 的数值计算、逻辑判断和数据查找等函数功能，针对 YJV-1kV 低压三相多芯电力电缆的载流量计算问题，依据最新出版的相关国家规范及设计手册中的数据，并根据 IEC 标准中相对应的多芯电缆的八种敷设方式，自动查找相对应的温度校正系数、载流量校正系数及降低系数，计算电缆实际载流量。软件计算结果通常采用两种表达方式，单一敷设方式 YJV 载流量计算书和不同敷设方式下的电缆载流量表，既方便设计人员校验计算过程，又便于根据载流量进行电缆选型。电缆

载流量的软件计算能对设计人员的工作提供便利，同时也能降低工作强度和提高劳动效率。

2 电子表格函数及功能

使用 IF 函数与 OR 函数，进行条件判断。

使用 VLOOKUP 函数，在表格或数值数组的首列查找指定的数值，并由此返回表格或数组当前行中指定列处的数值。

使用 INDEX 和 MATCH 函数，根据行标或列标或同时根据行标和列标在数据清单中查找值。INDEX 函数返回在某个区域内特定行和列交叉点上对单元格的引用，而 MATCH 函数则根据所要查询的值来查找某个区域内单元格的相对位置。当同时使用这两个函数时，它们会根据行标或列标返回一个值。

使用名称管理器及 INDIRECT 函数，辅以下拉序列形式的数据验证形式，让用户选择条件与参数。在方便输入的同时，保证根据实际情况选择数据的有效性。

使用超级链接及返回功能，在参数设置时给予使用者必要的参考信息。



3 计算书及计算表的自动生成

3.1 选择电缆敷设方式及电缆标称截面面积

设计人员根据设计所需选择相应的电缆敷设方式及 YJV 电缆标称截面面积，电子表格软件 EXCEL 再依据二者参数查询相关数据表格，自动求得相应的基础载流量值。其中，电缆的敷设方式引

用自 GB/T 16895.6-2014《低压电气装置 第 5-52 部分：电气设备的选择和安装 布线系统》（以下简称 2014 版《布线系统》）附录表 A.52.3；电缆的基础载流量值以 XLPE 绝缘，三根带负荷铜导体在空气温度为 30 或埋地温度 20 为基准，引用自 2014 版《布线系统》附录表 B.52.5 及表 B.52.12。（参见表 1）

表 1 2014 版《布线系统》附录表 B.52.5 及表 B.52.12 中的基础载流量

导体标称截面 mm²	不同敷设方式的载流量值（A） XLPE 或 EPR 绝缘，三根带负荷导体，铜，导体温度：90℃，环境温度：30℃（空气中），20℃（埋地）							
	A1	A2	B1	B2	C	D	D2	E( 三芯 )
铜								
1.5	17	16.5	20	19.5	22	21	23	23
2.5	23	22	28	26	30	28	30	32
4	31	30	37	35	40	36	39	42
6	40	38	48	44	52	44	49	54
10	54	51	66	60	71	58	65	75
16	73	68	88	80	96	75	84	100
25	95	89	117	105	119	96	107	127
35	117	109	144	128	147	115	129	158
50	141	130	175	154	179	135	153	192
70	179	164	222	194	229	167	188	246
95	216	197	269	233	278	197	226	298
120	249	227	312	268	322	223	257	346
150	285	259	342	300	371	251	287	399
185	324	295	384	340	424	281	324	456
240	380	346	450	398	500	324	375	538
300	435	396	514	455	576	365	419	621

3.2 根据城市确定温度及环境温度校正系数

设计人员选择设计所在地，依据全国主要城市气象参数，参数引用自《工业与民用供配电设计手册》第四版（以下简称《配四》）表 16-33，得到最热月 14 时平均干球温度及七月 0.8m 深土壤温度，

并求得空气和埋地不同环境下的环境温度校正系数 K（温度对电缆敷设处环境的影响及温度校正系数计算引用自《配四》表 9.3-8），其计算公式为

$$K = \sqrt{\frac{n - a}{n - c}}$$

式中， $n$ ——电线、电缆线芯允许长期工作温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$a$ ——敷设处的环境温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$c$ ——已知载流量数据的对应温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

3.3 根据埋地情况确定载流量校正系数

设计人员依据设计要求及现场条件选择地质材料、区域及沙土、粘土、沙泥土的含水量，根据所选的区域和含水量得出相应的热阻系数值，再由穿

管埋地和直接埋地的不同选择确定载流量校正系数。

土壤热阻系数引用自《配四》表 9.3-11（参见表 2）；不同土壤热阻系数的载流量校正系数引用自 2014 版《布线系统》附录表 B.52.16 和《配四》表 9.3-12（参见表 3）；常见地质材料热阻数据引用自李德英版《供热工程》常用地质资料表 5-18（参见表 4），其中热阻系数由导热系数换算而来。

表 2 《配四》表 9.3-11 中不同类型土壤热阻系数  $(K \cdot m) / W$

土 壤 情 况	0.8	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0
	潮湿土壤、沿海、湖河畔地带、雨量多的地区，如华东、华南地区	普通土壤，如东北大平原夹杂质的黑土或黄土，黄粘土沙土等	较干燥土壤，如高原地区、雨量较少的山区、丘陵、干燥地带	干燥土壤，如高原地区，雨量少的山区、丘陵、干燥地带	水分迁移的干燥土壤或粗沙、建筑垃圾	非常干燥或多石层地区
	湿度 > 9% 的沙土或湿度 > 10 的沙泥土	湿度为 7%-9% 的沙土或湿度为 12%-14% 的沙泥土	湿度为 8%-12 的沙泥土	湿度为 4%-7% 的沙土或湿度为 4%-8% 的沙泥土	湿度 4%-1% 的黏土	湿度 < 4% 的沙土或湿度 < 1% 的黏土

表 3 《布线系统》表 B.52.16 和表 9.3-12 中不同土壤热阻系数的载流量校正系数

土壤热阻系数 $(K \cdot m) / W$		0.5	0.7	1	1.2	1.5	2	2.5	3
载流量校正系数	电缆穿管埋地	1.28	1.2	1.18	1.15	1.1	1.05	1	0.96
	电缆直埋接地	1.88	1.62	1.5	1.4	1.28	1.12	1	0.9

表 4 《供热工程》表 5-18 中常见地质材料导热系数（部分）

《供热工程》内容		换算结果		换算结果	
名称	导热系数 $(W/(m \cdot K))$	热阻系数 $((m \cdot K)/W)$	名称	导热系数 $(W/(m \cdot K))$	热阻系数
大理石、花岗岩	3.489	0.287	混凝土	1.279	$((m \cdot K)/W)$
片麻岩	3.489	0.287	硬黏土（干）	1.163	0.782
石灰岩	3.024	0.331	重石灰岩	1.163	0.860
砂土（湿）	2.326	0.430	沥青混凝土	1.047	0.860
砂岩，石英岩	2.035	0.491	水泥砂浆粉刷	0.93	0.955
黏土及砂质黏土（湿）	1.861	0.537	碎石混凝土	0.872	1.075
砂土（中等湿度）	1.745	0.573	灰质页岩	0.837	1.147
黄土（湿）	1.651	0.606	重砂浆砖砌体	0.814	1.195



砾石混凝土	1.628	0.614	轻砂浆砖砌体	0.756	1.323
钢筋混凝土	1.547	0.646	贝壳石灰岩	0.639	1.565
砂质黏土（干）	1.407	0.711	黄土（干）	0.628	1.592
砂质黏土（中等湿度）	1.396	0.716	石灰重火山灰岩	0.523	1.912

### 3.4 根据敷设及排列方式确定降低系数及载流量计算

对已确定的八种敷设方式( A1、A2、B1、B2、C、D、D2、E( 三芯) )，设计人员根据设计要求选择相应的排列方式及成束回路数，求得多回路或多根电缆成束敷设的降低系数，系数引用自 2014 版《布线系统》附录表表 B.52.17 至表 B.52.21。其中针对敷设方式 D（敷设在埋地管槽内多回路电缆）需额外选择管槽数、管槽间距；针对敷设方式 D2（直埋在土壤内的多回路电缆）需额外选择回路数、电缆间距；针对敷设方式 E（敷设在自由空气中多根

多芯线缆束）需额外选择具体敷设方式、每个托盘中的电缆数、托盘梯架数。

根据不同的敷设方式将所得电缆标准载流量值与各项相关校正系数相乘即可求得计算载流量值，并将该值与回路计算电流或保护设备额定电流比较判断电缆的选型是否合适。

依据设计人员提供的设计基础数据所求得的各项参数，计算结果采用单一敷设方式 YJV 载流量计算书形式和各不同敷设方式的载流量列表两种形式体现。（参见表 5、表 6）

表 5 以兰州地区 YJV-1kV 多芯电缆为例的计算书（部分）

计算书			
序号	项目	计算参数	备注
1	所选敷设方式	D	
2	铜导体标称截面面具	120.00	
3	所得基础载流量值	223.00	
4	城市选择	兰州	
5	最热月 14 时平均干球温度（℃）	26.50	
6	七月 0.8m 深土壤温度（℃）	20.60	
7	环境温度校正系数	1.00	
8	多回路或多根电缆成束敷设的降低系数	0.70	排列方式请在“敷设在埋地管槽内多回路电缆的降低系数（适用于敷设方式 D）”中选择，成束回路数 3
9	埋地情况下的土壤载流量校正系数	1.05	热阻系数为 2, 敷设方式为穿管埋地
10	设在埋地管槽内多回路电缆的降低系数（适用于敷设方式 D）	0.85	管槽数为 3, 管槽间距 0.25m
11	计算载流量值	198.17	

表 6 以兰州地区 YJV-1kV 多芯电缆为例的计算表（部分）

导体 标称 截面	兰州地区 YJV-1kV 多芯电缆载流量计算表											
	给定温度 下敷设在 导热墙内 (A2)	给定温度 明敷导管 内 (B2)	给定温度 埋地管道 内 (D2)	给定温度 空气中 (E 三芯)	A1 敷设方 式 (综合 系数)	A2 敷设方 式 (综合 系数)	B1 敷设方 式 (综合 系数)	B2 敷设方 式 (综合 系数)	C 敷设方 式 (综合 系数)	D 敷设方 式 (综合 系数)	D2 敷设方 式 (综合 系数)	E (三芯) 敷设方式 (综合系 数)
铜												
1.5	16.79	19.75	20.91	20.74	11.75	13.03	13.82	19.25	17.16	23.44	21.64	14.47
2.5	22.71	27.65	27.88	27.65	15.90	17.38	19.35	25.67	23.40	31.25	28.23	20.13
4	30.61	36.53	35.85	35.55	21.43	23.70	25.57	34.56	31.20	40.18	36.70	26.42
6	39.50	47.40	43.81	43.45	27.65	30.02	33.18	43.45	40.56	49.11	46.11	33.97
10	53.32	65.17	57.75	57.27	37.32	40.29	45.62	59.25	55.38	64.74	61.16	47.17
16	72.08	86.89	74.68	74.06	50.46	53.72	60.83	78.99	74.89	83.71	79.04	62.90
25	93.80	115.53	95.59	94.79	65.66	70.30	80.87	103.68	92.83	107.15	100.68	79.88
35	115.53	142.19	114.51	113.55	80.87	86.10	99.53	126.39	114.67	128.36	121.38	99.38
50	139.23	172.80	134.42	133.30	97.46	102.69	120.96	152.06	139.63	150.69	143.96	120.77
70	176.75	219.21	166.28	164.90	123.72	129.55	153.45	191.56	178.63	186.40	176.90	154.73
95	213.28	265.62	196.15	194.52	149.30	155.62	185.93	230.07	216.86	219.89	212.65	187.44
120	245.87	308.08	222.04	220.19	172.11	179.32	215.65	264.63	251.18	248.91	241.82	217.63
150	281.41	337.70	249.92	247.84	196.99	204.59	236.39	296.23	289.40	280.16	270.05	250.97
185	319.92	379.17	279.79	277.47	223.95	233.03	265.42	335.72	330.75	313.65	304.86	286.82
240	375.22	444.34	322.61	319.92	262.65	273.32	311.04	392.99	390.03	361.64	352.85	338.40
300	429.53	507.53	363.43	360.41	300.67	312.81	355.27	449.28	449.32	407.41	394.25	390.60

### 4 软件计算的说明和问题研究

（1）本文软件计算部分适用于无铠装电缆与非单芯情况下的铠装电缆。

（2）从设计常用功能出发，软件未考虑与 YJV-1kV 低压三相多芯电力电缆无关的其他敷设方式、其他电压等级的电缆载流量计算，如 YJV 单芯电缆在 F、G 敷设方式下的载流量计算，两芯电缆

载流量计算，高压电缆载流量计算，也未考虑四芯、五芯电缆的谐波对载流量的影响。同时，我们采用相类似的方法，完成了根据工作回路的计算电流自动完成电缆选型和压降校验等设计工作。

（3）关于本文涉及载流量部分所引用的 2014 版《布线系统》附录表 B.52.5 中 D 敷设方式与被代替的老版规范 GB/T 16895.15-2002《建筑电气



装置第 5 部分：电气设备的选择和安装第 523 节：布线系统载流量》(以下简称 2002 版《布线系统载流量》)表 52-C4 的 D 敷设方式数据有所变化。值得注意点是《配四》已引用了新版国标数据，目前仍有大部份工程设计人员使用 04DX101《建筑电气常用数据》的载流量数据，还有很多 2014 年前的出版物,如:《ABB 低压配电电气设计安装手册》、《民用建筑电气设计手册》(第二版)，其 D 敷

方式的载流量均引用自 2002 版《布线系统载流量》表 52-C4 的 D 敷设方式的数据。比较两个版本规范的 D 敷设方式载流量数据，2002 年版规范的载流量比 2014 版规范载流量值平均高出 6.15%。(参见表 7)

2014 版《布线系统》部分前言中并未直接说明 D 敷设方式的数据已经更新，容易使读者习惯性沿用老版规范的相关数据。

表 7 2002 版《布线系统载流量》表 52-C4 及与 2014 版《布线系统》的载流量比较

表 52-B1 中敷设方式的载流量值 (A) XLPE 或 EPR 绝缘，三根带负荷导体，铜，导体温度 :90℃，环境温度 :30℃（空气中）, 20℃（埋地）							与 2014 版 D 敷设方式 载流量数据 相比偏差值
导体标称截面	表 B. 52.1 中的敷设方式						
铜	A1	A2	B1	B2	C	D	
1.5	17	16.5	20	19.5	22	22	0.048
2.5	23	22	28	26	30	29	0.036
4	31	30	37	35	40	37	0.028
6	40	38	48	44	52	46	0.045
10	54	51	66	60	71	61	0.052
16	73	68	88	80	96	79	0.053
25	95	89	117	105	119	101	0.052
35	117	109	144	128	147	122	0.061
50	141	130	175	154	179	144	0.067
70	179	164	222	194	229	178	0.066
95	216	197	269	233	278	211	0.071
120	249	227	312	268	322	240	0.076
150	285	259	-	-	371	271	0.080
185	324	295	-	-	424	304	0.082
240	380	346	-	-	500	351	0.083
300	435	396	-	-	576	396	0.085
				平均偏差值（%）			6.151

（4）通常土壤热阻系数的确定有三种方式：地质材料的热阻；所在区域的土壤热阻；不同湿度下沙土、黏土的热阻。软件计算尽量根据具体工程情况取值，条件不成熟时，建议选用表 2 中三种热阻系数中最大值作为计载流量的修正系数。对于不同土壤热阻系数相应的校正系数的取值以表 3 为依据，从电缆运行可靠性的角度出发，选取匹配区间的较大值。如依据表 4 中常见地质材料数据，查得钢筋混凝土的导热系数并换算成热阻系数，其值为 0.65，而在表 3 中并无热阻系数为 0.65 所对应的值，故从电缆可靠运行的角度出发，选取表 3 中存在的系数 0.7 作为选定校正系数时热阻系数值。表 3 中的校正系数适用于敷设于埋地管槽中的电缆,但对于直埋电缆,当土壤热阻系数小于 2.5 K·m/W 时校正系数将会高一些。

电缆载流量的数学模型计算可以采用《电缆载流量计算 第 11 部分：载流量公式（100% 负荷因数）和损耗计算 一般规定》JB/T 10181.11-2014/IEC60287-1-1:2006 章节 1.4.1.1 的公式，但是 IEC 提供的计算公式复杂且计算工作量较大，不适用于工程计算，如果在已知土壤热阻系数或土壤导热系数的情形下，如同表 2、3、4，查得土壤载流量校正系数，更加容易计算。

（5）2014 版《布线系统》要求，对于敷设方式为 A1 与 A2 时，“必须保证内墙面的表面传热系数不小于 10W / (m²·K )。导管尽量靠近但不需与内护墙版接触，从电缆产生的热流量仅通过内护墙板散热。”但查看贺平、孙刚版《供热工程》

第四版附录 1-4 中“常用护围结构的转热系数 K 值 [W/( m²· )]”，其数据全部小于 10W，教材数据与规范要求截然不同，故规范要求正确与否尚未可知。

### 5 结语

本文通过电子表格软件 EXCEL 实现 YJV-1kV 低压三相多芯电力电缆的载流量计算，实现在电气设计中运用通用办公软件集中计算电缆载流量。设计人员应在工程设计初期，通过选择相应的基础数据，得到不同工程地域、不同敷设方式下的载流量计算结果，并作为电气工程设计计算书之一，用于施工图电缆规格的正确选型。大型工程的多位电气设计人员在设计过程中参照同一个电缆载流量表，可大大提高工作效率，同时也避免电缆选型原则不一致的问题。

### 参考文献：

[1] GB/T 16895.6-2014，低压电气装置 第 5-52 部分：电气设备的选择和安装 布线系统 [S].

[2] 中国航空工业规划设计研究院．工业与民用配电设计手册（第四版）[M]．北京：中国电力出版社，2016.

[3] 李德英．供热工程 [M]．中国建筑工业出版社，2004.

[4] 贺平，孙刚编．供热工程 [M]．中国建筑工业出版社，2009.

[5] 中国建筑标准设计研究院．国家建筑标准设计图集 建筑电气常用数据 04DX101-1[M]．中国计划出版社，2006.



浅谈综合管廊中供热管道补偿器、支架的设置

陆朴荣

（中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000）

摘 要：本文以综合管廊内供热管道补偿器、支架为研究对象，结合综合管廊内空间受限的特殊性，分析补偿器、支架的设计及受力计算等。

关键词：综合管廊；补偿器；支架

1 引言

综合管廊中供热管道的安装不同于直埋安装，存在管道温度变化引起的热应力、空间受限、限制位移等特殊问题，本文针对综合管廊内管道补偿器、支架的设计计算，分析其影响因素，给出设计需要的参数及计算方法。

2 综合管廊环境温度变化

根据《城市综合管廊工程技术规范》GB50838-2015 要求，管廊内的管道环境温度不超过 40℃，可知，综合管廊内温度变化上限为 40℃。

综合管廊覆土深度约 2 ~ 4m，廊内温度接近土壤温度，综合管廊内温度变化下限可参考《城镇供热直埋热水管道技术规程》CJJ/T81-2013 附录 A 全国主要城市地温月平均值，当无气象参数时，对热水管道取当地最冷月平均温度，或 5℃。

3 管道内介质温度变化

根据《城镇供热直埋热水管道技术规程》CJJ/T81-2013，供热管道工作循环最高温度应取供热管网设计供水温度；工作循环最低温度，对全年运行的管道应取 30℃，对只在采暖期运行的管道应取 10℃。

4 补偿器设置

供热管道在运行过程中因输送热介质而受热产生热变形，热变形在一定条件下可能在管道中引起很大的力，随之在管道材料上产生应力。在某种情况下这些应力可能达到管道强度所不允许的危险数值，为了减轻管道材料在上述温度应力时的工作条件，常采用专门的补偿器来减轻管道的附加应力。

通常常用的补偿器有方形补偿器、波纹补偿器、套筒补偿器、球型补偿器等。由于综合管廊内空间受限的特殊性，采用方形补偿器、球形补偿器时，会出现需要局部增大空间的问题，增加投资且会影响到相邻舱室管道的布置，因此，综合管廊中适宜采用波纹、套筒补偿器。

波纹、套筒补偿器分普通型、压力平衡型。综合管廊内供热管道一般为主干管、主要分支管，其管径一般为 DN200 ~ DN1000，且工作压力较高，采用普通型补偿器时，其盲板力较大，会增加固定支架受力。压力平衡型补偿器可平衡膨胀节内部介质压力产生的推力，从而解决了盲板力对固定支架的推力问题，减少固定支架推力，因此，综合管廊中适宜采用压力平衡型补偿器。

4.1 平衡型波纹补偿器推力计算

波纹补偿器是由波纹管、短管和其它附件组成。

波纹补偿器因工作压力不同有 0.6MPa、1.0MPa、1.6MPa、2.5MPa 型等，工作温度可在 450℃ 以下，尺寸 DN 为 50mm~1000mm。

压力平衡型波纹补偿器的推力为 F<sub>d</sub>：

$$F_d = Kx \cdot X \quad (\text{kN}) \quad (\text{式 4.1})$$

Kx：波纹补偿器的轴向刚度（kN/mm）

X：波纹补偿器吸收的轴向位移量（mm）

4.2 平衡型套筒补偿器推力计算

套筒补偿器是由用填料密封的套管和外壳管组成的，两者同心套装并可轴向补偿的补偿器。套筒补偿器一般用于管径大于 100mm，工作压力小于 1.3Mpa（铸铁制）及 1.6Mpa（钢制）。套筒补偿器补偿能力大，一般可达 250~400mm，如果管道有横向位移时，易造成填料圈卡住，因此它只能在安装在直线管段上使用。

套筒补偿器产生的摩擦力 F<sub>c</sub> 为拉紧螺栓挤压密封填料产生的摩擦力 F<sub>cl</sub> 与内压所产生的摩擦力 F<sub>cm</sub> 两者的较大值。

拉紧螺栓挤压密封填料产生的摩擦力 F<sub>cl</sub>：

$$F_{cl} = \frac{3.923n}{f} \cdot D \mu B \quad (\text{kN}) \quad (\text{式 4.2})$$

n：螺栓个数

f：填料的横截面积（cm<sup>2</sup>）

D——套筒补偿器的套管外径（cm）

B——沿套筒补偿器轴线的填料长度（cm）

μ：填料与管道的摩擦系数，橡胶填料 μ=

0.15；油浸和涂石墨的石棉圈 μ=0.1；

3.923：螺帽扳子拧紧螺栓的最大作用力（kN）

π：圆周率，3.14

内压所产生的摩擦力 F<sub>cm</sub>：

$$F_{cm} = \pi D A \mu P \quad (\text{kN}) \quad (\text{式 4.3})$$

P：管道内压力（表压）（Pa）

A：系数，当 DN ≤ 400mm 时，A=0.2；当 DN > 400mm 时，A=0.175

其余符号同式 4.2。

$$F_c = \text{Max} (F_{cl}, F_{cm}) \quad (\text{kN}) \quad (\text{式 4.4})$$

5 支架设置

支架是供热管道系统的重要组成部分，支架的设计是供热管道设计中的重要环节。如果支架设计不当，不能承受管道重量等引起的载荷，将可导致管道一次应力超标。另外，通过支架的设置还可以对管网中管道的变形加以控制，从而减小管道的二次应力和管道对设备的推力，保证管道和设备的正常运行。

5.1 滑动支架设置

滑动支架用于不允许有竖向位移的支点。

活动支架的允许跨距，取按强度条件和刚度条件确定的跨距的最小值作为设计参考依据，对于水平 90°弯管两端活动支架间的展开长度不应大于水平直管段上活动支架最大允许间距的 0.73 倍。

工程中，一般选用的活动支架间距见表 1。

表 1 活动支架间距

管径 DN mm	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
活动支架间距 m	10	12	12	15	15	15	15	15	15	15	15	12	12

滑动支架所受推力 F<sub>h</sub> 为：

$$F_h = u q L_h \quad (\text{kN}) \quad (\text{式 5.1})$$

u：摩擦系数，可取下列数值：

钢与钢滑动摩擦，u=0.3

钢与聚四氟乙烯，u=0.2

聚四氟乙烯之间，u=0.1

钢与钢滚动摩擦，u=0.1

q：单位管长计算重量（kN/m）

L<sub>h</sub>：活动支架间距（m）

5.2 固定支架设置



固定支架用于管道上不允许有任何方向的线位移和角位移的支撑点。它主要用于将管道分成若干补偿管段，分别进行热补偿，从而保证补偿器的正常工作。

（1）固定支架间距

管道支架的间距大小直接决定着管道支架的数量。间距过小意味着管道支架数量要增加，也就要增加费用和投资；但间距过大，又可能影响管道自身的安全。

供热管道上设置固定支架，其目的是限制管道轴向位移，将管道分为若干补偿管段，分别进行补偿，从而保证各类补偿器安全可靠的工作。固定支

座承担了供热管道的绝大部分力，其投资费用高，并直接影响到热网的经济性及可靠性，因此合理设置固定支架是十分重要的。

1) 管段的热伸长量不得超过补偿器所允许的补偿量。

2) 管段因膨胀和其它作用而产生的推力，不得超过固定支座所能承受的允许推力。

3) 不应使管道产生纵向弯曲。

对于供热管网回水管道，固定支座的最大间距要适当留有一定的富裕量。因为回水管补偿器应考虑运行回水温度高于设计值的情况，即在设计参数下留有一定的富裕量，以满足运行工况的要求。

表 2 固定支架间距

管径 DN mm	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
固定支架间距 m	90	90	90	100	100	120	120	120	120	120	100	100	100

（2）平面管道固定支架推力计算

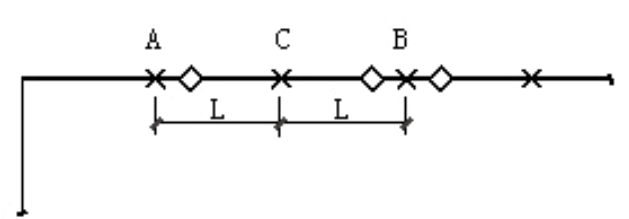


图 1 平面布置管道及固定支架

当采用平衡型补偿器时，固定支架推力计算公式：

A 为端部固定支架受力水平推力最大，其值为：  
 $F_A = F - 0.7F_{f1}$  （kN） （式 5.2）

B 为中间固定支架受水平推力最小，其值为：  
 $F_B = 0.3F$  （kN） （式 5.3）

C 为次中间固定支架，其水平推力值为：  
 $F_C = 0.3(F + F_m)$  （kN） （式 5.4）

F：波纹补偿器弹性力  $F_d$ （kN）；套筒补偿器弹性力  $F_{d1}$ （kN）；套筒补偿器

摩擦力  $F_C$ （kN）  
 $F_m$ ：直管段管道与滑动支架摩擦力之反力  
 $F_m = uqL$  （kN） （式 5.5）

$F_H$ ：直角自然补偿弹性力与该处管道和滑动支架摩擦反力之计算合成（kN）

u：摩擦系数，可取下列数值：  
钢与钢滑动摩擦， $u=0.3$   
钢与聚四氟乙烯， $u=0.2$   
聚四氟乙烯之间， $u=0.1$   
钢与钢滚动摩擦， $u=0.1$

q：单位管长计算重量（kN/m）  
L：固定支架间距（m）

在固定支架两侧配置阀门时，需要按可能出现的最不利情况进行计算。最不利情况出现在阀门全闭状态。以单侧水平推力最大值做设计依据。此外，必须注意因设置阀门，由管道介质内压力产生的盲板力。

对于敷设多跟供热管道的支架，考虑固定支架所承受的水平推力时，还应考虑工架中各管道的相互影响，当固定支架承担四根及以上管道时，需要考虑这一因素影响。

（3）空间管道固定支架受力计算  
在管道分支处，通常存在三通、弯头、阀门、固

定支架等管道附件，受力情况相对复杂，本文采用管道应力分析软件 START 对管道分支处进行受力分析。

计算工况：主管道直径 DN500，支管管径 DN200，工作压力 1.6Mpa，管道工作最高温度

130℃；补偿器选用套筒补偿器，摩擦力 110kN，补偿量 250mm，长度 2m；导向支架间距 10m，滑动支架间距 14m，管道在管廊中布置见图 1，平面布置图见图 2。

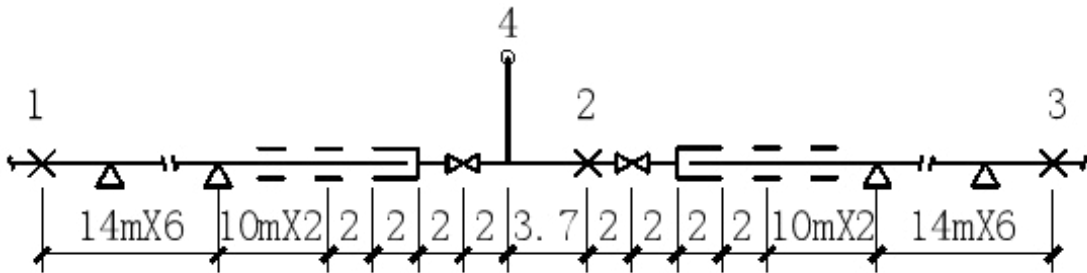


图 3 供热管道平面示意图

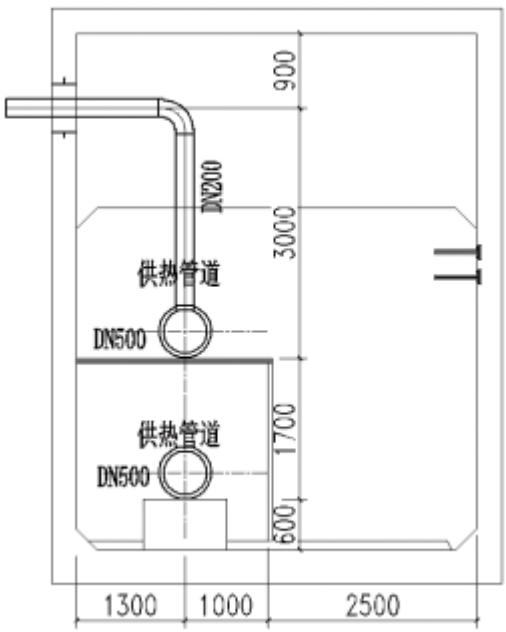


图 2 供热管道分支处布置图

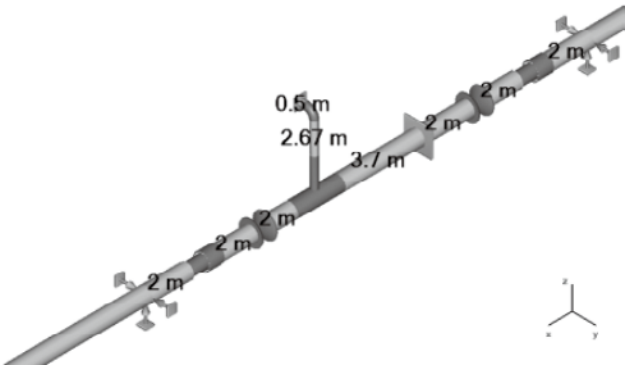


图 4 START 软件建立计算模

利用 START 软件，建立空间模型，通过计算分析，得到固定支架 1、2、3、4 的受力见表 3。

表 3 固定支架受力表

节点号	支吊架类型	力，(kN)		
		X	Y	Z
1	主管锚固（固定）	52.662609	0.0009807	25.716896
2	主管锚固（固定）	179.93786	4.9142877	96.410656
3	主管锚固（固定）	127.12226	0	25.716896
4	支管锚固（固定）	18.816691	6.698181	79.087571

（下转第 46 页）

# 综合管廊通风系统设计浅析

王 涛  
(中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000)

摘 要：结合实际工程经验，从通风方式选择、通风区间划分、通风口设置、不同舱室通风量计算、设备选型与安装、不同工况下通风系统的运行控制等方面系统介绍通风系统设计的要点和方法。通过深入地分析综合管廊通风系统设计要点，总结出针对管廊不同舱室不同通风区间设计通风系统的新理念，对综合管廊通风系统节能设计和运行维护安全有重要借鉴意义。

关键词：综合管廊；通风系统；通风方式；通风区间；通风口；通风量；运行工况

城市地下管线是指城市范围内供水、排水、燃气、热力、电力、通信、广播电视等工程管线及其附属设施，是保障城市运行的重要基础设施和“生命线”<sup>[1]</sup>。地下综合管廊是指在城市地下建造一个可以将各种市政地下管线集于一体，设有专门检修口、吊装口及监测系统，并实施统一规划、设计、建设及管理的地下隧道空间<sup>[2-4]</sup>。综合管廊对地下空间资源综合利用和避免管道维修造成的道路反复开挖具有重要意义，我国城市综合管廊建设是在社会经济高速发展前提下形成的必然趋势<sup>[5-6]</sup>。

地下工程的通风不同于普通民用建筑，其设计方法、参数取值及运行管理等独有特性<sup>[7]</sup>。管廊本体位于地下密闭空间，热湿空气和有害气体极易沉积，人员和微生物活动大量消耗氧气使内部环境急剧恶化，严重影响维护人员巡视和检修；并且廊内电力电缆、供热管道及污水管道等也散发大量热和恶臭<sup>[3,5,8,9]</sup>，故管廊必须设置通风系统才能保证良好卫生环境。本文深入研究目前国内外关于管廊通风系统设计原则和要点，并结合管廊通风系统设计实际工程经验，总结出针对管廊不同舱室不同通风区间设计通风系统的新理念，对管廊通风系统节能设计和运行维护安全有重要借鉴意义。

## 1 通风方式选择

管廊通风方式主要有自然通风、诱导式通风和机械通风三种<sup>[9-16]</sup>。为确保管廊正常地运行、巡检、事故（火灾）后排烟的安全性和经济性，并结合 GB50838-2015<sup>[17]</sup> 中相关规定，优选机械通风，而针对管廊不同舱室应该采用如下形式：（1）天然气舱和污水舱采用机械进风、机械排风；（2）综合舱、电力舱及配电设备间采用自然进风、机械排风；（3）通风死区采用诱导式通风，以确保廊内良好的空气品质。

## 2 通风区间划分

管廊通风区间主要有两类：防火分区和通风分区。管廊一般较长，根据消防要求，必须对天然气舱和电力舱进行防火分区划分，每一个防火分区即为一个通风区间。GB50838-2015<sup>[17]</sup> 规定：天然气舱和电力舱室应每隔 200m 采用耐火极限不低于 3.0h 的不燃性墙体进行防火分隔。防火分区划分时还需综合考虑设备初期投资、日常运维费、设备噪音及安全防火性能等多种因素<sup>[13]</sup>。针对非天然气和热力舱室不设防火分隔，但实际工程设计中为使通风量和风压达到排出管廊内各管线发热量的标准和确保管线的正常工作状态，同时保持廊内良好的卫生环

境和空气品质，通风分区长度不宜大于防火分区长度，即通风分区长度小于等于 200m。

## 3 风口布置

管廊通风口主要分两类：廊内通风口和地面通风口。管廊的每个通风区间至少设有一个进风口和一个排风口，并且进、排风口沿着管廊交替布置<sup>[15]</sup>。GB50838-2015<sup>[17]</sup> 中只明确规定：天然气舱的排风口与其他舱室的排风口、进风口、人员出入口以及建（构）筑物口部距离不应小于 10m，对于其它进、排风口间距则未明确规定。为避免因距离过

长，内部管线阻力带来的通风效率衰减过快，保证通风换气的有效性，其进、排风口间距不大于 200m<sup>[18]</sup>。

## 4 通风量

通风量既是保证廊内良好空气品质的重要条件，也是通风设备选型、各风口风速控制的主要依据，故合理计算各通风区间风量，不仅可以节约初投资，而且能保证通风系统安全和高效运行。计算通风量时必须明确管廊标准断面构造，常见管廊标准断面见图 1。

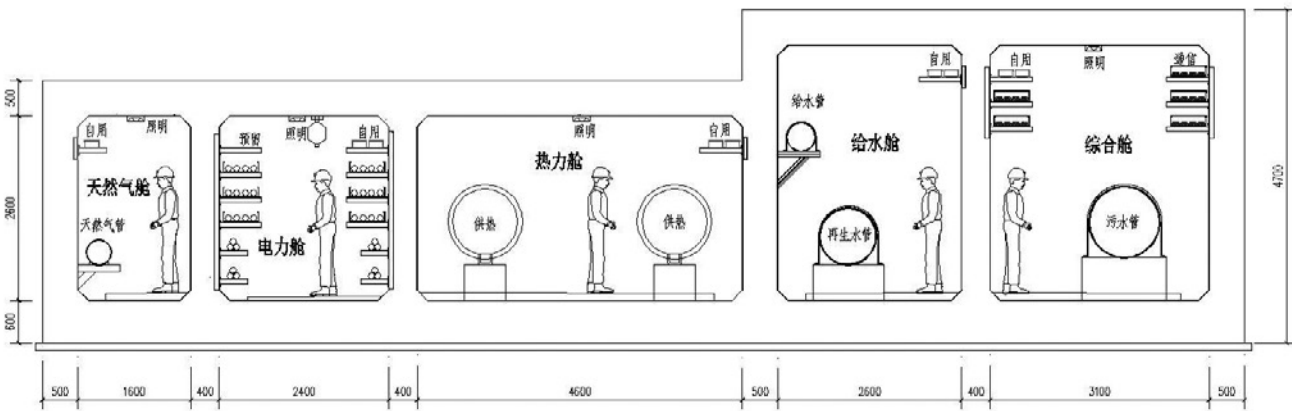


图 1 综合管廊标准断面

### 4.1 电力舱通风量计算

（1）根据电缆发热量计算风量

1) 单根电缆发热量计算

$$q_d = \frac{I^2 \sigma}{A_d}$$

式中  $q_d$  为电缆散热功率，W/(m·根)； $I$  为通过电缆的电流，A； $A_d$  为电缆的横截面积，m<sup>2</sup>； $\sigma$  为电缆运行时的电阻率，Ω·m。

2) 总散热功率

$$P = q_d L_d N$$

式中  $P$  为电缆总散热功率，W； $L_d$  为计算电缆的长度，m； $N$  为电缆回程数。

3) 总通风量计算

$$Q = \frac{P}{c\rho(t_p - t_{xj})}$$

式中  $Q$  为通风量，m<sup>3</sup>/h； $t_p$  为排风温度，综合管廊取 40℃； $t_{xj}$  为进风温度，取当地夏季室外通风计算温度，℃； $c$  为空气比热容，J/(kg·℃)； $\rho$  为空气密度，kg/m<sup>3</sup>。

（2）根据换气次数计算风量

$$Q = nLA$$

式中  $n$  为管廊通风换气次数，次/h； $A$  为管廊有效断面面积，m<sup>2</sup>； $L$  为通风区间长度，m。GB50838-2015<sup>[17]</sup> 中规定：正常通风换气次数不应小于 2 次/h，事故通风换气次数不应小于 6 次/h。

通过以上两种方式计算，取两者通风量最大值



作为该区间通风量有效计算值。

4.2 热力舱通风量计算

(1) 根据热力管道散热计算风量

1) 单根热力管道散热量计算

$$q_r = \frac{t - t_a}{\frac{D}{2\lambda} \ln \frac{D}{D_o} + \frac{1}{\alpha}}$$

式中  $q_r$  为热力管道散热的热流密度, W/m<sup>2</sup>;  $t$  为工作钢管外表面温度, ;  $t_a$  为热力舱内的环境温度, ;  $D$  为管道保温层外径, m;  $D_o$  为工作钢管外直径, m;  $\lambda$  为保温材料热导率, W/(m·K);  $\alpha$  为保温层外表面的表面传热系数, W/(m<sup>2</sup>·K)。

2) 总通风量计算

$$Q = \frac{\pi D L q_r n_r}{c \rho (t_p - t_{dj})}$$

式中  $n_r$  为热力管道根数;  $t_{dj}$  为进风温度, 取当地冬季室外通风计算温度, 。

(2) 根据换气次数计算风量的方法同 4.1 中 (2)

通过以上两种方式计算, 取二者中通风量的最大值作为该区间通风量有效计算值。

4.3 天然气舱通风量计算

天然气舱计算通风量时, 取正常通风换气次数不应小于 6 次/h, 事故通风换气次数不应小于 12 次/h; 通过公式 计算作为天然气舱通风量有效计算值。

4.4 综合舱通风量计算

综合舱计算通风量时, 取正常通风换气次数不应小于 2 次/h, 事故通风换气次数不应小于 6 次/h; 通过公式 计算作为综合舱通风量有效计算值。

5 通风设备选型与安装

通风设备是保证管廊通风系统安全运行的核心部件, 并且是通风系统耗能的主体, 因此通风设备的选型与安装至关重要。

5.1 设备选型

(1) 风机选型原则

1) 根据有效计算通风量的 1.1 倍选择风机型号;

2) 根据有效计算通风风压的 1.2 倍选择风机型号, 管廊通风系统的阻力包括局部阻力和沿程阻力, 风压阻力计算公式如下:

a. 入口阻力计算

$$\Delta P_r = \zeta_e \frac{\rho v_r^2}{2}$$

式中  $\Delta P_r$  为入口阻力损失, Pa;  $\zeta_e$  为入口损失系数;  $v_r$  为管廊入口风速, m/s。

b. 沿程阻力计算

$$\Delta P_y = \lambda \frac{L}{D_r} \cdot \frac{\rho v_s^2}{2}$$

式中  $\Delta P_y$  为沿程阻力损失, Pa;  $\lambda$  为管廊壁面摩擦损失系数;  $v_s$  为管廊内部风速, m/s;  $D_r$  为管廊内断面当量直径, m。

c. 出口阻力计算

$$\Delta P_o = \zeta_o \frac{\rho v_o^2}{2}$$

式中  $\Delta P_o$  为出口阻力损失, Pa;  $\zeta_o$  为出口损失系数;  $v_o$  为管廊出口风速, m/s。

d. 自然风阻力计算

$$\Delta P_m = (\zeta_e + \lambda \frac{L}{D_r}) \frac{\rho v_n^2}{2}$$

式中  $\Delta P_m$  为自然风阻力损失, Pa;  $v_n$  自然风作用引起的管廊内风速。

e. 总阻力计算

$$\Delta P = \Delta P_r + \Delta P_y + \Delta P_o + \Delta P_m$$

式中  $\Delta P$  为总阻力损失, Pa。

3) 通风机应能实现正常、事故通风两种功能; 还应具备高效、低噪声及防腐功能;

4) 天然气舱选配防爆防静电型通风机, 热力舱和电力舱选配排烟风机, 综合舱选配普通排烟风机, 配电设备间选低噪声壁式风机, 均能在 280 条件下工作 0.5h。

(2) 防火阀选型原则

1) 根据通风机型号选配防火阀;

2) 防火阀应有电信号控制开、关功能, 同时可手动、远程电动开关, 火灾工况 70 电动关闭, 排烟工况 280 电动关闭;

3) 配置电动执行器, 风机立式安装时需承载风机运行荷载。

5.2 设备安装

管廊通风设备安装最基本原则是必须保证工作人员安装和运行维护设备有足够的操作空间。风机防火阀组合安装见图 2。

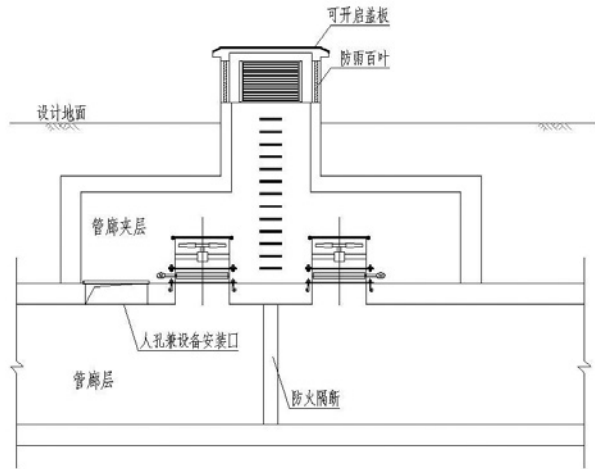


图 2 综合管廊风机防火阀组合安装图

6 系统工况

管廊通风系统是指将一系列进、排风口、送、排风道、风机、控制系统及其他附属设备组合成的一个通风整体。它借助换气稀释或通风排除等手段, 来保障廊内空气环境质量。管廊通风系统运行工况主要有以下几种:

1) 正常通风

该工况包括平时通风和巡检通风。平时通风是为满足管线的运行环境要求和排除廊内的余热、余湿及稀释有害物质; 巡检工况是为运维检修人员提供良好卫生环境而进行的强制通风措施。

2) 事故通风

该工况包括泄露事故通风和火灾及灾后排烟。泄露事故通风是为快速排走高温高压气体或有毒易爆

炸气体, 为检修提供条件。火灾及灾后排烟是当管廊某个防火分区内发生火灾, 自动关闭该防火分区和相邻防火分区的通风设备, 相应的防火分区处于密闭缺氧状态, 以利于灭火。待确认火熄灭后, 开启该防火分区和相邻防火分区的通风设备进行排烟。

7 结论

1) 采用不同舱室实际通风区间长度计算通风量, 使通风设备选型做到最符合实际工程运行, 不仅降低初投资, 而且大大减少通风系统能耗, 从而大幅降低后期运行成本;

2) 针对不同舱室不同通风区间分别设计合理高效的通风系统, 不仅可以保障综合管廊内具有良好的卫生环境, 而且可以更好地防止或减少事故和人员伤亡;

3) 综合管廊作为城市基础设施建设新需求, 通风系统设计理论需要经过工程实践的反复检验, 不断完善、总结、提升, 才能更好地为城市各项功能服务。

参考文献:

[1] 詹武刚. 某城市综合管廊通风系统及燃气舱设计 [J]. 建筑热能通风空调, 2017, 36 (04): 99-103.

[2] 杨霁虹. 浅谈地下综合管廊电力舱的通风系统设计 [J]. 建材与装饰, 2017 (07): 86-87.

[3] 姜筱婷. 浅析城市综合管廊的通风系统 [J]. 建材与装饰, 2017 (45): 185.

[4] 吴德珠. 浅议通风系统在城市综合管廊消防设计中工程及技术要求 [J]. 江西建材, 2016 (12): 25.

[5] 李德强. 综合管沟设计与施工 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 10-21.

[6] 王琼. 综合管廊通风系统研究 [J]. 山西建筑, 2016, 42 (34): 121-122.

[7] 刘贵廷, 霍尚龙. 某地下工程通风除湿系统改造设计 [J]. 暖通空调, 2009, 39 (11): 104-106.

(下转 65 页)

## 住宅区园林景观设计浅析

马瑾婕

(中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**随着城市化的不断发展和人民生活水平的不断提高,人们对城市居住区的景观设计提出了新的要求。住宅是人们放松、娱乐、居家、生活的重要场所。人们对住宅区域环境的要求源于自然、审美、健康、休闲等诸多方面的诉求,希望从中可以得到放松、愉悦和舒适的体验。本文对住宅区景观进行了简要的分析和阐述。

**关键词:**住宅区;绿化植物;园林景观设计;健身活动

近年来,随着市场经济体制的改革,房地产业竞争日趋激烈,产品档次成为企业成败的决定性因素。然而,到目前为止,土建受制于投资,为提高整体产品品质,房地产企业纷纷将目光投向住宅区景观环境设计上,并产生了不错的成效及口碑。此后,优化城市居住区景观设计,已成为推动房地产市场发展的重要因素,其相关研究备受关注。

对于城市规划建设而言,居住区是重要的组成部分。他是城市居民生活的地方,也是广大人民群众的基本物质需求。在居住区景观设计中,主要是绿色生态和居住品质的综合应用。此外,在保证居住区生态景观设计的基础上,如何创造体育空间,满足各年龄段居民的需求,提高居住环境的舒适性和幸福感,这是景观设计过程中需要注意的问题。通过规划设计,增强居民的归属感和舒适度,在和谐的环境中进行沟通交流,增强邻里之间的交流沟通。

### 1 住宅区园林景观设计的作用

#### 1.1 美化景观环境,提高生活品质

景观设计在居住区的应用中,通过空间多角度、多技术的结合,可以提高居住区的生活品质,在感官视觉营造上,可以通过技术应用来塑造舒适景观,

体现温馨的、和谐的、生态的景观格局。以此为基础设计可以在居住区整体美观方面发挥良好的作用,增强居住区整体设计感及生态景观环境。在新时代,人们对生态环境保护的要求越来越高。居住区景观设计应充分发挥生态功能和环境效应,提高居住环境质量,低碳环保的生活。

#### 1.2 创造舒适场地,增强居住环境幸福感

在现代城市生活中,城市生活节奏快,生活压力大。因此在城市居住区规划中,除了营造舒适、轻松的环境外,还需要营造休闲氛围,注重城市住宅的休闲功能。在居住区与城市相结合、生态发展一体化的过程中,对于住宅小区内设计出满足不同年龄阶段的运动健身、文化活动、休闲娱乐等相应的基础设施。在工作生活之余,享受景观设计中文化休闲场所带来的美感,并在景观环境中得到身心的放松,提升住宅小区居民的幸福感、归属感与舒适度。

### 2 住宅小区景观设计中相关问题分析

#### 2.1 植物种类与设计模式较为单一

在植物种类的体现上组合种类较少,造成住宅小区绿化相对单一。园林景观在植物设计要求上,良好的植物组合形式要求:层次相对丰富,设计应

为三到五层的植物搭配形式,草地、地被、灌木、小乔木、大乔木,通过不同选型的植物搭配,来还原自然界的生态群落。住宅小区的园林景观设计较

多采用的灌木、乔木植被形态,在整体效果上略显单一。同时,由于植物品种选择相对单一,植被的层级也相对单一。



图1 从地被到小乔木层的自然式配植,叶形地被与修剪绿球交叉种植。



图2 不同形态灌木组合的样式--高圆相配,形成差异,较大量的整形绿球与少量点缀地被花卉穿插组合。



图3 从大乔木到草花,标准的多层次配植,充分利用植物株型态之间的差异,形成错落的变



图4 疏密搭配的层次配植,局部(左侧)留出草坪,与组团植群形成开阖对比。



图5 在边缘、角落等处的植物处理:层次丰满,越狭窄处植物越密实,抱角处往往花灌木破除棱角感。

#### 2.2 活动空间的单一性

在过去居住区园林景观设计中,设计手法相对保守,室外活动空间相对单一狭小,没有根据整个

空间发展的综合需要进行规划,尤其是在活动空间的设计中,不能满足不同年龄层次对于活动空间的需求,也没有形成相应的系统划分。在整个设计中,



没有综合考虑审美意识、设计的整意识，对绿化质量的不科学，造成了投资成本的浪费。对于活动空间中不同绿化的融入度不够。

2.3 人文景观与艺术气息的融入不够

在居住区园林景观设计，对于住宅小区在人文景观营造、文化气息的塑造等方面，没有形成艺术性的欣赏，在充分考虑绿化因素的基础上，应当将这部分作为提升小区居住品质的亮点突显出来。因此，在设计中应充分考虑居民的要求，注重人文内涵的设计，可以适当多设计一些符合居民生活情趣的游憩休闲项目，尤其是和儿童。针对老人和孩子设计出满足他们的游玩休憩和健身娱乐方面的设施。从而营造出一个人与自然和谐统一的赏心悦目的生态环境。

3 住宅小区景观设计中创新应用的探讨

3.1 功能空间的总体规划与合理划分

在前期的设计分析过程中，要注意做好园林设计的统筹规划，相关的设计要注意科学性和整体性的统一。城市居住区的园林景观的设计首先要进行科学的规划，这是设计规划的重要前提，具体来说要注意园林设计和周围环境的统筹问题。既有多元化的设计，与此同时也注意园林的合理布局与搭配，在此基础上来促进相互间的和谐沟通，所以景观的设计既要注重美观，也要注意安全性、舒适性。除此之外，景观的设计要以居家为主题，营造和谐的家氛围，设计上最好符合主流文化审美的特点，注重大方得体，景观性与舒适度之间最大程度的统一。文化的体现方面，每个地方都有自己的地方文化特点，在设计休闲空间之前，了解这片地区的区域文化是很有必要的。城市公共休闲空间设计要做到有特色，应从该地区特有的文化底蕴入手，把握该片区历史渊源和传统积淀，从文化体现着手设计空间表现。区域功能的和谐方面，休闲空间设计首先要注重平面空间的表现力。平面空间是休闲场所的基础性工程。其次，休闲空间设计除了要在平面

上进行思维设计，还要在空中与平面进行伸展性空间思考。休闲空间的分区主要可以分为空地休闲区、绿地植被区、水池假山区、音乐喷泉区、小品雕塑区、回廊座椅区、健身娱乐区等等。需要注意的是，城市公共休闲空间的这一分区只是理论上或设计思考中的分区，在布局设计和实际施工中，各个分区是融合在一起的，以共同构成城市公共休闲场所的小环境。

3.2 突出个性化设计，强化儿童游乐区的创新模式

儿童游乐区与小区景观设计要形成良好的和谐氛围，尤其是在整个设计管理的过程中，要结合传统与现代化的模式，更好的实现小区儿童游乐区的综合建设。要区别于传统的居住模式，我们就得在设计上有所突破，强化个性化的设计。在儿童游戏环境的设计上，打破“沙坑”+“滑梯”的模式，在设计理念上进行创新，是我们探索当前住宅景观新模式的一种尝试。纯粹为儿童考虑和设计的儿童游戏空间，在强化儿童感知能力、突破传统设计观念影响，根据不同年龄段的儿童活动特点，设置不同内容和形式的设施，符合儿童室外活动的规律。可分为几个区域：幼儿游乐场，学龄前儿童和学龄儿童游乐场。儿童游乐场内的各种有趣的设施，对儿童提高自身认知能力，具有至关重要的作用。除了传统的沙坑、器械、可增设计游戏墙，小迷宫的种植区等，提高儿童的参与度。在游戏器材的选址方面，除了传统的器械外，可增加秋千、荡木，攀爬式的器械或起落器，甚至加入运动器械等运动设计等。通过人性化的设计理念，力求在儿童场地的设计中，满足不同年龄段儿童的需求，促进儿童的健康成长。

3.3 突出色彩运用，营造良好生态环境

园林景观的色彩运动主要为两个方面：植物搭配及季相变化，植物的搭配不但注重四季更替，更在植被幼苗的选择和栽种方面重视对质感植物以及色彩的挖掘。通在小区环境中还留出一定比例的自然空间，可以有效地调节小区的生态环境。通过

因地制宜，因势利导，利用一切可以运用的因素，高效地利用地质因素和自然资源；减少人工层次而注意自然环境设计。景观小品的色彩运用也日益自由、丰富和灵活。广泛运用玻璃、不锈钢、铸铁以及石、木等不同颜色与质感的材料，通过科学搭配营造出良好的园林景观。充分利用车库、台地、坡地、宅前屋后构造充满活力和自然情调的亲绿空间环境；利用小区内的有限空间，实施绿化、造景，力求营造绿树成荫、花木扶疏、鸟语花香、缓坡清流、阳光草坪、生机盎然的居住环境。从空间角度上看，色彩是全方位的，空间每个层次的色彩处理都是不一样的。上层包括一些建筑小品以及乔木植被等；中层包括栏杆、花坛以及灌木等；下层则包括广场、草坪等。每个空间层次的色彩都十分丰富，因此在空间序列上要对其进行合理的把握，使空间层次的色彩特点充分体现出来。

4 结语

因此，在住宅小区景观设计的探索过程中，要突出创意性的设计元素，可以结合小区的综合需要与功能，在健身、休闲、娱乐、活动等方面形成综合性的运用，因此，在考虑多方面的因素过程中，对于每一个要素要构建良好的管理模式，在结合空间立体感的营造上，突出对整个设计的创新发展，将能起到很好的效果。

参考文献：

[1] 吴振华，朱旭刚，张静．生态居住社区园林景观发展趋势初探[J]．现代园林论坛，2009（3）  
[2] 姜明．住宅区园林景观设计探讨[J]．建筑工程技术与设计，2014（21）  
[3] 高涛．小区住宅园林景观规划设计探讨[J]．城市建筑，2013（16）

（上接第 61 页）

[8] 娄佳濯，吴小冬．市政综合管廊通风系统的设计原则与要点[J]．江西建材，2017(03):53+57.  
[9] 李海新，张琪．综合管廊通风系统设计探讨[J]．山西建筑，2015, 41(34):137-138.  
[10] 窦荣舟，刘明超，王彦祥．谈地下城市综合管廊的通风设计[J]．山西建筑，2016, 42(15):126-128.  
[11] 汪辉．谈城市地下综合管廊的通风设计[J]．城市规划，2017, 02:246.  
[12] 于浩．城市综合管廊工程通风系统设计浅析[J]．科技创新导报，2016, 13(36):50-51.  
[13] 陈虹．共同沟的通风设计[J]．工程设计，2003, 03:43-45.  
[14] 蔡昊．城市综合管廊通风系统设计刍议[J]．山西建

筑，2016, 42(15):116-117.  
[15] 刘胡州．城市综合管廊通风系统设计分析研究[J]．建筑热能通风空调，2017, 36(05):86-88.  
[16] 林桦．南宁市五象新区核心区综合管廊通风、排烟系统设计[J]．轻工科技，2014, 30(06):109-110+147.  
[17] 上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司，同济大学.GB50838-2015 城市综合管廊工程技术规范[S]．北京：中国计划出版社，2015.  
[18] 刘承东，唐宏辉，谢艺强，胡康，城市综合管廊通风系统风亭设计及优化[J]．中国市政工程，2016(S1):91-94+120-121.

# 基于 NDVI 的西北干旱区植被覆盖变化趋势分析

路世雷

( 甘肃中建市政工程勘察设计院有限公司 甘肃 兰州 730000 )

摘 要：基于 GIMMS NDVI 与 SPOT NDVI 数据，采用连续的 NDVI 植被覆盖指数，分析了中国西北干旱区历年植被覆盖变化。结果显示：西北干旱区的 NDVI 普遍不高，且经历了先增后减的变化趋势。西北干旱区 NDVI 的减少可能是由于西北地区平均温度加速上升，并可能存在更复杂的自然和人类活动等多方面的驱动因素。

关键词：NDV；西北干旱区；植被变化

## 1 引言

植被指数的变化能够揭示环境的演化、变迁。多时相的遥感数据记录了植被状况的变化历程<sup>[1]</sup>。因此，植被指数遥感为大面积监测植被状况的演化过程提供了技术可能，从而可以起到监测、预警作用，为减缓退化过程甚至恢复原有自然环境提供决策服务。在干旱与半干旱地区，稀疏植被覆盖是其主要的环境特征，长期定量的植被分布和变化分析能够找出环境变化的原因。中国西北干旱区具有干旱大陆性气候特征，研究地表植被覆盖变化对于该地区的能量、生物化学循环、水循环以及区域气候变化有重要意义。

归一化植被指数 (NDVI) 是遥感影像的近红外波段 (NIR) 和红外波段 (R) 反射率的比值参数。与植被覆盖度、叶面积指数、生物量 and 生产力等性状具有很好的关系。植被的生长与温度、降水等气候条件密切相关<sup>[2]</sup>。20 世纪 90 年代以来，在 NDVI 动态变化及与气候因子的相互关系方面的很多研究表明，植被 NDVI 的变化特征及与气候因子的关系随着气候区、植被类型和研究的时期不同而有所差异<sup>[3]</sup>。

现有工作中专门针对西北干旱区植被变化的工作较少，将西北干旱区作为一个独立的研究区

域还不多，所得到的结论也不尽相同。方精云等利用 GIMMS 的 1982-1999 年 NDVI/AVHRR 数字影像，在中国近 20 年的植被覆盖变化的研究后得出，中国西部地区的植被大都呈增加趋势。朴世龙等利用相同的数据集研究发现植被退化的地区主要分布在西北地区和青藏高原；以及师庆东基于 FVC 指数对 1982-2000 年中国西部干旱区植被覆盖时空变化特征分析<sup>[4]</sup>，李秀花等对 1981-2001 年中国西北干旱区 NDVI 变化分析<sup>[5]</sup>，均对本区的研究时段都相对较老。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

NDVI 研究使用的植被数据是 GIMMS 和 SPOT VGT 两种数据集的 NDVI 数据。连续若干年的 GIMMS 数据采用中国西部环境与生态科学数据中心的地区长间时序 GIMMS 植被指数数据集，其空间分辨率为 8×8km，时间分辨率是 15 天。该产品以经过辐射校正和几何粗的校正的 NOAA/AVHRR 数据为数据源，经过几何精校正，去坏线，去云等处理后计算而成。SPOT 采用的中国西部环境与生态科学数据中心的地区长时间序列 SPOT\_Vegetation 植被指数数据集，其空间分辨率为 1×1km，时间分辨率为 10 天。

## 2.2 数据处理

对 GIMMS 的数据集中的 Sub\_China\_Albers\_Env 文件包中的半月数据进行均值计算，采用 ARCGIS9.3 内的 zonal 工具，然后将所得结果代入公式：

$$DN=NDVI/10000$$

对 SOPT 数据进行重新投影，转换成适合中国地区的 ALBERS 投影，然后对所得结果代入公式，通过公式：

$$DN=(NDVI+0.1)/0.004$$

转换到 0-250 的 DN 值。再对所有的 GIMMS 数据和 SPOT 数据进行剪裁，使用边界剪裁出西北干旱区。然后采用最大合成法 MVC (Maximum Value Composites) 获取月 NDVI 值，该方法可进一步消除云、大气、太阳高度角等部分的干扰。GIMMS 公式为：

$$MNDVI_i=Max(NDVI_{i1},NDVI_{i2})$$

SPOT 公式为：

$$MNDVI_i=Max(NDVI_{i1},NDVI_{i2},NDVI_{i3})$$

式中：i 为月序号，取值为 1-12；MNDVI<sub>i</sub> 为第 i 月的 NDVI 值；NDVI<sub>1</sub> 和 NDVI<sub>2</sub> 可进一步分为 i 月上半月和下半月的 NDVI 值。

同样采用 MVC 方法获取年最大 NDVI (NDVI<sub>max</sub>)，作为年 NDVI 值。计算公式为：

$$YNDVI_{max}=Max(MNDVI_{i1}, MNDVI_{i2}, \dots, MNDVI_{i12})$$

## 2.3 研究方法

MVC 法是国际上惯用的最大化合成法，其原理是图像中每个像元的月 NDVI 值用该月中旬的最大 NDVI 值替代，以减少大气的云、颗粒、阴影、视角以及太阳高度角的影响。

为了解过去西北植被空间变化情况，首先对连续 NDVI 数据进行了年际变化分析，利用 MVC 方法取得的逐年 NDVI 数据可得出逐年 NDVI 均值，从而得到 NDVI 年际变化曲线图。

将发生趋势性变化的 NDVI 值进行重分类，分为 <-0.05，-0.05~-0.02，-0.02~0.02，0.02~0.05，>0.05 五个级别，以表示 NDVI 具有高度减少，轻度减少，无变化，轻度增加，高度增加的趋势。

## 3 结果分析

### 3.1 年际变化分析

整个西北干旱区 NDVI 值见图 1，大体处于 0.15-0.22 之间。从 1982-1998 年间一直处于波动增长阶段，从 1998 年开始，处于减少阶段。并从 1998-2006 年 GIMMS NDVI 和 SPOT NDVI 重合区可以看到，NDVI 都处于下降阶段，且两条曲线波动幅度大致相同，由此可见两种数据具有很强的相关性，都可以反映出西北地区 NDVI 的年际变化。

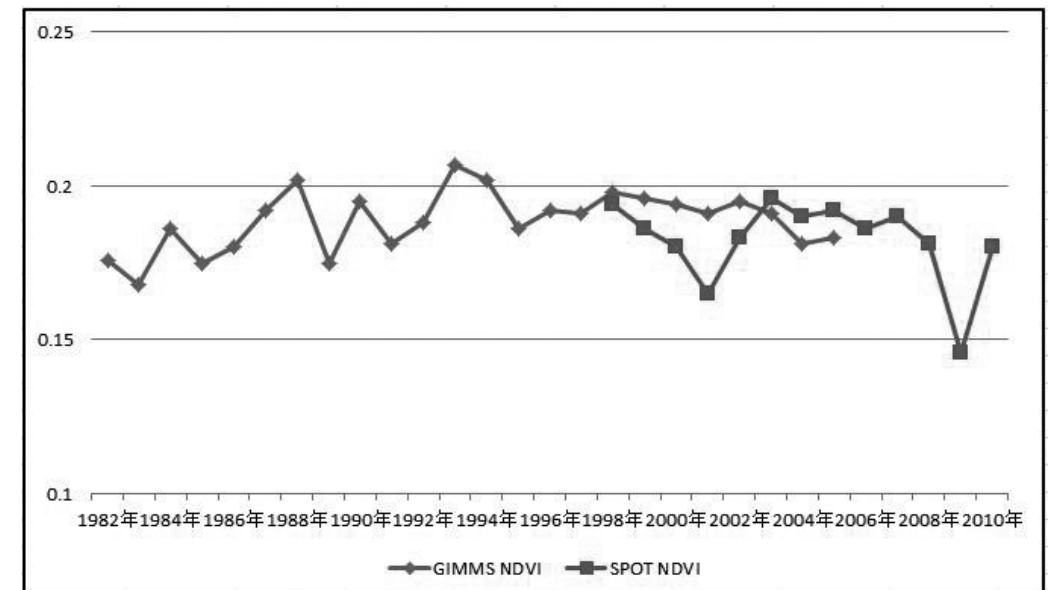


图 1 西北干旱区 1982-2010 年 NDVI 年际变化曲线



3.2 分时段分析

两个时段内 NDVI 增加区域经历了先增加后减少的变化见表 1，这也导致了西北干旱区历年来整体 NDVI 的变化经历了先增后减的变化趋势。高度增加区域范围基本相同。不变区域占主要部分，主要为植被稀少的荒漠地区，如塔克拉玛干沙漠，巴丹吉

林沙漠,腾格里沙漠等地区,这些地区由于常年干旱，植被稀少，NDVI 值低，所以 NDVI 变化幅度不大。二十一世纪初开始，NDVI 减少区域范围明显增大，在新疆塔里木河下游、阿尔泰山、甘肃河西走廊东部尤为明显，NDVI 减少区总面积增加了 26.5%，而增加区域减少了 3.4%，不变区域减少了 23%。

表 1 西北干旱区二十世纪末至二十一世纪初 NDVI 变化

NDVI 变化等级及范围	二十世纪八十年代至九十年代变化区域所占面积比（%）	二十世纪九十年代至二十一世纪初变化区域所占面积比（%）	两期变化对比（%）
高重减少 <-0.05	0.7	15.6	14.9
轻度减少 -0.05~-0.02	4.5	16.1	11.6
无明显变化 -0.02~0.02	75.9	52.9	-23
轻度增加 0.02~0.05	11.4	5.7	-5.7
高度增加 >0.05	7.5	9.8	2.3

4 结语

- 1) 西北干旱区总体 NDVI 水平不高，具有由东南向西北递减的趋势,且相对而言山区 NDVI 较高，平原区较小。
- 2) 在时间上，西北干旱区 NDVI 总体经历了先增后减的变化趋势，在上世纪八九十年代为增长阶段，本世纪初处于减少阶段。
- 3) 对于西北干旱区 NDVI 变化原因，在二十世纪八九十年代可能主要为气候变化所致，如西北地区气候向暖湿方向变化 [6]。至二十一世纪初期，西北干旱区 NDVI 的覆盖变化在大尺度范围内可能以气候原因为主，在个别绿洲等人类活动较强区域，可能由于人地矛盾进一步加剧,使 NDVI 不断减少。

参考文献:

[1] 李震，阎福礼，范湘涛．中国西北地区 NDVI 变化

- 及其与温度和降水的关系 [J]．遥感学报，2005, 9 (3)：308-313.
- [2] 崔林丽，史军，肖风劲．中国东部 NDVI 的变化趋势及其与气候因子的相关分析 [J]．资源科学，2010, 32 (1)：124-131
- [3] 李晓兵，史培军．中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温，降水变化的敏感性分析 [J]．植物生态学报，2000, 24 (3)：379-382.
- [4] 师庆东．基于 FVC 指数对 1982-2000 年中国西部干旱区植被覆盖时空变化特征分析 [D]．博士学位论文，2004, 1-52.
- [5] 李秀花，师庆东，常顺利．1981-2001 年中国西北干旱区 NDVI 变化分析 [J]．干旱区地理，2008, 31 (6)，940-945
- [6] 邓超平．近 22 年来西北地区植被变化及其气候响应研究 [D]．硕士学位论文，2006, 5







## 《西北城建》

2018年第1期(总第65期)

2018年6月出版

编辑单位:《西北城建》编辑部

E — mail: 495605322@qq.com

电 话: 0931-8175846