

公路隧道论文集  
**GONGLU SUIDAO LUNWENJI**

广东省公路学会隧道工程分会

人民交通出版社

## 内容提要

本书收集论文 75 篇,反映了近几年我国公路隧道在设计、施工、科研、管理、病害处理、新材料、新工艺方面的实践及经验,对今后隧道建设和管理极具现实意义。

### 公路隧道论文集

广东省公路学会隧道工程分会

正文设计:            责任校对:            责任印制:

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

印刷厂印刷

开本:787×1092  $\frac{1}{16}$  印张:            插页:            字数:            千

2000 年 10 月 第 1 版

2000 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001~1200 册 定价:50.00 元

ISBN 7-114-03768-6

U·02729

# 前 言

硕果累累告别旧世纪,豪情满怀迎接新千禧。广东省公路学会隧道工程分会 1999、2000 两届年会分别于韶关、深圳召开。来自全省及国内有关单位的同行们齐聚一堂,就隧道建设的方方面面进行了有益的探讨和交流,这对我省公路隧道建设和管理工作水平的提高起到了很好的推动作用。

两次学术交流会均得到各有关单位和同行们的大力支持,1999 年年会收到论文近 30 篇,2000 年年会收到论文 45 篇。论文内容涉及隧道设计、施工、科研、管理、病害处理和新材料新工艺等。现从中精选出 70 篇汇编成《公路隧道论文集》予以出版,并作为两届年会的正式论文集。这些文章既来之于实践,又用之于实践,极具现实意义,其中更不乏真知灼见之作,值得广大公路隧道建设者一读。

本书由广东省高速公路公司孔祥金教授级高工、赵树荣高工负责审编、封面设计和联系出版事宜,具体出版工作由我会和人民交通出版社负责。本书的出版得到广东省高速公路公司和深圳市运输局有关领导的大力支持,在此一并致谢。

广东省公路学会隧道工程学会

2000 年 10 月

# 目 录

## 2000 年论文

### 综合

隧道工程中的风险及其分担.....	章建华	安 军	冯宝泉	3	
深汕高速公路龙门隧道口有害气体排放问题的探讨.....	杨力	卜 剑	陶子政	8	
京珠高速公路坪石隧道围岩变形预报的人工神经网络方法.....	周建春	何江陵		11	
京珠高速公路粤境北段不良地质和特殊地层路堑边坡防护与加固 ...	林 平	李 彪		15	
惠盐高速公路深圳段防雷实践.....	刘行实	叶卫东		26	
隧道施工工期预测与控制.....	邢念信	吕文迪		30	
论隧道监控系统设备的维护管理.....		蔡 新		37	
公路隧道修建中若干工程问题的思考.....	王源昆	安 军	冯宝泉	42	
深圳大梅沙隧道设计简述.....		张武祥		47	
高速公路隧道通风设计理论与实践.....		谢朝军		52	
公路隧道消防设计中一个值得注意的问题.....		刘行实		58	
华蓥山瓦斯隧道施工通风新模式介绍 ..... 陆茂成 罗占夫 范 鹏 张生林 高 山 程家金 郑 毅 郭恒普				61	
浅谈蛇仔迳隧道优化设计.....	朱勇军	梁淦波	聂玉文	赵金锐	65
深圳大梅沙隧道洞门设计.....		张武祥			68
对公路隧道内排水方式选择的看法.....	梁淦波	朱勇军	赵金锐		71
有限元法在公路隧道设计中的应用.....	朱合华	李晓军	黄宏伟	杨金松	74
按多点支承连续板法对锚喷支护参数进行预设计.....	吴鸿军	汪纲领			79

### 隧道施工

公路隧道预加固技术.....		姚永勤			86
饱和含水砂层注浆技术在城市超浅埋暗挖隧道中的应用.....	刘 力	刘建国			90
大跨度隧道施工方法综述.....		刘建国			94
大跨度隧道“七部法作业”工法.....	李伦稳	李永亮			104
雷公山隧道通过挤压破碎带的施工技术.....	冯宝泉	安 军	黄平原		109
迭福山隧道进口段施工实践.....	章健华	曾燕鹏	安 军		115
隧道洞口(超)浅埋 II 类围岩预加固施工顺序.....	黄平原	张玉川	张秀丽		120
洋碰隧道左线进口软岩浅埋段的施工方法.....	胡圣江	李应顺			124
鹅公岷隧道施工开挖技术.....		王进志			129

### 病害治理

拾荷隧道不良地质现象及处理措施综述.....	李国安	赵金锐			133
------------------------	-----	-----	--	--	-----

深圳大梅沙隧道东口特殊不良地质段施工.....	杨风华	霍卫华	136		
雷公山隧道塌方、变形的工程地质条件 .....	魏江川	安 军	142		
雷公山隧道左线初期支护变形处理方案.....	安军	张玉川	冯宝泉	146	
京珠高速公路靠椅山隧道大塌方的处理.....	邓雄业	孔祥金	151		
猫山隧道通天塌方的整治.....	汪彩芬	张立岩	156		
京珠高速公路隧道岩溶处理浅析.....		何江陵	160		
砒霜坳隧道岩溶的处理.....	陈鹏飞	张丕界	167		
软岩隧道系统注浆及预应力小锚索综合加固技术研究及应用 .....	汪纲领	吴鸿军	王国际	173	
大跨度公路隧道大塌方处理.....		张崇栋	182		
<b>量测·试验</b>					
大跨、浅埋公路隧道的监控量测 .....	李家鑫	秦 峰	187		
绿色高性能混凝土的工程试点.....	邢宝琛	周立栋	何茂成	195	
改善公路隧道路面整平层贫混凝土和易性的有效措施.....		裴德勇	203		
<b>新材料·新工艺</b>					
深圳大梅沙隧道复合式衬砌 LDPE 防水层施工新技术 .....	辛立伦	韦雁飞	207		
一种新颖的隧道内装修.....		邓万福	212		
双跨连拱隧道的防排水——介绍猫山隧道防排水措施 .....		张立岩	汪彩芬	216	
氟碳铝板在深圳盐坝隧道工程中的应用.....	苏 波	张永成	刘明德	金绪刚	222

## 1999 年论文

### 综合

对我国公路隧道工程建设中几个问题的探讨.....		张良忠	229	
京珠高速公路粤境南段隧道设计简介.....	刘 可	蒲春平	郭小红	233
公路隧道工程的前景.....		孔祥金	240	

### 隧道设计

浅析当前隧道工程设计施工的几个问题.....	邓万福	古 明	刘陌生	245
软弱围岩修建隧道的数值仿真.....	陈少华	程崇国	248	
用收敛—约束法进行隧道初期支护设计.....		陈建勋	253	
对公路隧道限界和内轮廓的看法.....	王天明	赵金锐	258	
公路隧道平曲线设计的体会.....	赵金锐	王天明	黄双林	261

### 隧道施工

京珠高速公路隧道施工中岩溶的探讨.....		李 彪	264		
京珠高速公路坪石隧道应用新奥法的工程实践 .....	李希元	周建春	罗立峰	韦国民	268
洋碰隧道进口右线浅埋软弱围岩段的施工.....		吴鸿军	276		
五龙岭隧道施工简介.....	蒲春平	刘 可	胡占荣	281	
京珠高速公路石门坳隧道施工初探.....		李 彪	286		

靠椅山隧道大变形的整治与对策.....	尤庆忠	290
大跨度扁坦隧道 III 类围岩开挖施工技术 .....	李伦稳 戴尊勇 宫建岗	294
靠椅山隧道施工通风降尘技术.....	李传营	299
靠椅山隧道防排水施工技术.....	戴尊勇 张玉华	303
孔隙水压力对隧道施工的影响.....	王忠勋	308
浅埋软岩隧道施工方法的探讨.....	汪纲领 吴鸿军	313
京珠高速公路石门坳隧道开挖中光面爆破效果探讨.....	李彪	318
猫山隧道施工及典型类比法的应用.....	邓江 邓万福 肖广成 王树林	322
靠椅山隧道断层破碎带开挖施工技术总结.....	赵光泉	327
岐岭隧道软岩浅埋段的施工及工艺.....	李应顺	331
<b>量测·试验</b>		
京珠高速公路坪石隧道施工监控量测及其应用		
.....	韦国民 周建春 罗立峰 余卫民	340
隧道现场围岩监控量测的意义和作用.....	林益恭 程崇国 李希元 黄伦海	347
隧道施工中的监控量测.....	职雨风 罗炳华 彭伟强	351
公路工程砌筑砂浆配合比设计若干问题的探讨.....	尤庆忠 何茂成	355
德国的公路隧道设计与施工.....		360
广东省 1998 ~ 1999 年公路隧道修建情况一览表 .....		362

# 2000 年 论 文

## 隧道工程中的风险及其分担

章健华

安 军

冯宝泉

(四川铁科监理公司) (深圳市坪西公路有限公司) (中铁十三局深圳公司)

**摘 要** 随着社会主义市场经济体制的形成和发展,建筑市场招标、投标制度日趋完善。在隧道工程项目招投标和工程承包活动中,风险与成功并存;无论是建设单位(业主)还是承包商,对工程建设中的风险都应有足够的认识和估计,以利于工程项目的管理。本文对隧道建设中的风险及其分担问题提出了合理风险分担能有效控制工程造价和工期的观点,并结合国际通行的解决风险的方法,对我国隧道工程中风险处理提出了建议。

**关键词** 工程合同 隧道风险 工程管理 风险分担

### 1 隧道工程建设中的风险种类及其来源

国际咨询工程师联合会(FIDIC)在《土木工程施工合同条件》(简称 FIDIC 条款)的通用合同条件中对风险问题做了明确的具体规定,如第 20 条、65 条、70 条、72 条。工程风险具有一定的偶然性,它一旦发生集中表现为导致工程建设受影响,业主和承包人其中一方或双方共同受到严重的经济损失,并导致业主和承包人之间的索赔或共同向保险公司索赔等。对一般的土木工程而言,风险的来源大体有政治风险(如战争与内乱、资产国有化、没收外资、政府项目的拒付债务等)、经济风险(延迟付款、通货膨胀、换汇控制、汇率浮动等)和其他风险(主要是 FIDIC 条款中第 20.4 条除政治风险外的其他款项和后续法规等)。

隧道及地下工程作为土木工程的一个特殊分支,具有一般土木工程风险的共性,同时也具有其特殊性。隧道工程的风险贯穿于隧道建设的全过程,主要有以下几个方面:

(1)施工前工程地质和水文地质情况不很准确,这是隧道及地下工程与一般土木工程最大区别之处。一般地面工程的地质主要影响基础部分,而且往往是浅层地质,易于勘探和掌握;隧道及地下工程整个结构处于地下(有时还是深层),其围岩的水文地质状况对隧道工程的施工方法、施工支护、施工管理,直至以后的运营管理都是至关重要的。但目前的勘探方法、勘探手段都很难在施工前将围岩状况掌握的一清二楚。作为隧道设计、施工前提的工程地质和水文地质条件的不准确性,极可能导致设计文件和招标投标合同在施工实施阶段与现场实际情况发生差异,从而带来难以预见的风险。

(2)隧道(尤其是长大隧道)一般施工工期较长,因而对材料价格的变化、汇率的变化等影响工程费用增减的处理也会带来风险。

(3)选择承包商的风险。承包商的设备、能力、技术管理水平,合同执行过程中承包商法人发生变更、破产、兼并等对合同的执行有很大的影响。

(4)不利的气候或天灾带来工程损失或延期。

(5)施工条件(如进场条件、限制施工用水、用电等)也会对合同的执行带来风险。

(6)施工中发生的风险,如由于塌方、涌水、爆破等出现的安全问题。

(7)发生争议后,协商、调解、仲裁、诉讼等不同的处理方法也会对工程进展带来影响。

(8)合同监督执行的风险,如监理单位及其人员选配、监理人员的素质等。

风险的来源是多方面的,具体可参阅 FIDIC 条款的有关内容和国际隧道协会发表的《关于合同风险分担的建议》的详细论述。

## 2 合理的风险分担有利于控制工程造价和工期,有利于建设双方

在工程建设中风险的出现有其偶然性和必然性,由于隧道工程比其他的地面工程更为复杂、困难、危险,因而具有更大的风险性。隧道工程建设中的风险及其评价和风险的合理分担,对工程的顺利进行以及合理的工程造价、工期显得尤为重要。

风险分担是指业主与承包商在工程建设过程中对发生的各种风险如何分担的问题。这首先要要求在工程合同签订时,要尽可能多地考虑来自工程建设中的各种可能出现的风险,尽管这种风险出现的概率极其微小,并明确双方在这种风险中所应承担的权利和义务。这样对建设双方都有利,这已被工程实践所证明。如果忽视这一点,等到建设过程中遇到风险处理时,就可能对其分担问题产生争议,出现麻烦,甚至发展到诉讼,影响工程的顺利进行。如果引起停工,双方的损失就更大。同时,合理的风险分担能有效地控制工程造价和工期。如果风险全部由承包商承担,承包商在投标时就会为避开风险或转移风险,可能夸大风险因素,从而使投标报价偏高,或者在施工过程中风险出现时为避免亏损甚至不惜以降低工程质量为代价。相反,如果风险全部由业主承担,这使承包商没有降低工程造价和提高管理水平的动力,同样达不到降低造价的目的(图 1 是挪威 20 多年工程实践的结果)。

图 1 挪威的工程实践

图 1 说明不同的合同类型,也就是不同的风险分担方式,将会导致不同的工程造价。所以,工程承包合同中,明确、合理的风险分担能有效的控制工程造价。

隧道工程不同于一般的地面工程,因为在勘探阶段很难把隧道所处的围岩状况勘探得很清楚,施工时往往会出现实际发生的工程量与设计工程量的差异,这就引起了工程合同价变化和工期的提前或延期。前者可以根据合同规定进行工程变更,利用实际发生工程量进行计量计价;但工期的变化和合同要求出现了差异,如何使工期延长或提前有根有据,又避免合同双

方的争议,挪威的实践认为利用“时间当量”,即实际单位作业耗时的办法,可以解决这个问题(见表1)。

“时间当量”法计算工程合理延期样表

表 1

影响进度的工程项目	单位	时间当量 工作班/单位	合同数量		实际情况	
			工程数量	时间(以工作班计)	工程数量	时间(以工作班计)
1.隧道开挖(不包括停工时间)	m	0.156	5000	778.0	5040	286.2
2.开挖面支护 岩石锚杆 钢筋网 喷混凝土 混凝土衬砌(拱及边墙) 临时撬落松石(3人)	根	0.017	4000	68.0	8332	141.6
	m <sup>2</sup>	0.017	500	8.5	630	10.7
	m <sup>3</sup>	0.026	340	8.8	1012	26.3
	m <sup>3</sup>	0.313	500	156.5	389	121.8
	m <sup>3</sup> /h	0.044	1550	68.2	2690	118.4
3.开挖面后 围岩支护 混凝土衬砌(拱及边墙)	m <sup>3</sup>	0.022	435	9.6	775	17.0
	m <sup>3</sup>	0.278	50	13.9	123	34.2
总工作天数				1111.5		1256.2
总周数				111.15		125.62
延误合同工期(周数)						14.47

注:工作班标准 7.5h 班,每周 10 个工作班。

表 1 说明通过时间当量计算出实际合理的工作时间与合同工期之间的差异,这个差异就应是由于工程量的变化可以提前或延期的时间(由于其他原因延误如恶劣气候、不可抗力等可按有关合同条款办理;同时应注意综合考虑各种因素,如在考虑异常恶劣气候时也应考虑异常良好的气候条件),从而避免了双方的争议,也可促进承包商按期完成任务,不能按期完成也应有依据。此例说明工程量的变化引起延期的风险由业主承担,并非由承包商承担。

我国公路隧道工程建设,由于长期计划经济条件下的意识问题和其他方面的原因,在合同中对风险分担条款普遍不够详细和明确,出现了工程造价和工期很难控制的问题。有些隧道实际造价高出合同价很多,有些隧道碰到问题就停工等待增加投资,甚至至今有人还有这样的观点:“大塌方大赚钱,小塌方小赚钱,靠合同不赚钱。”这样的结果,实质就是把所有的风险转嫁给业主和国家,不利于工程建设管理,也不利于施工技术水平的提高。

由此可见,有了风险分担,对业主来说可以从工程实际出发,有效地控制工程造价和工期。在投标时承包商不致为避免风险而提高投标价,施工时尽力按期完成。对承包商而言,因其承担了部分风险,就促使其在施工过程中不断提高管理水平和技术水平,尽可能避免风险的出现。从长远看有利于增强其市场竞争力和企业活力;从整体上看,有利于缩小我国隧道管理和技术水平与世界发达国家的差距。国际惯例也是采用风险分担的办法,且在招投标合同有关条款中写得很清楚。

### 3 国际解决风险分担的原则和方法

风险分担在国际土木工程合同中作为一个重要组成部分写入合同文件,其根据就是由国际咨询工程师联合会编的《土木工程施工合同条件》(即 FIDIC 条款)。国际隧道协会结合隧道及地下工程的实际总结了国际隧道工程的实践经验,在处理风险分担问题上也发表了《关于合同风险分担的建议》,该建议对隧道工程合同风险分担问题的合理确定具有较高的参考价

值。

根据 FIDIC 条款及国际隧道协会的建议,对于隧道风险责任分担有以下几种处理方法:

(1)FIDIC 合同条件第 20 条规定,业主的风险引起的工程损害,在风险过后监理工程师提出要求时,承包商有义务进行工程修复,所发生的费用由业主承担;在承包商负责照管期间,如果工程或任何部分或待用材料或设备出现的任何损失或损坏(除限定的业主风险外),不论出自何种原因,承包商均应自费弥补此类损失以使工程各方面符合合同规定,达到监理工程师满意的程度;按照 FIDIC 条款第 49 条、第 50 条对承包商责任的规定,承包商应对其作业过程中造成的对工程的任何损失或损坏承担责任。

(2)对于隧道工程合同条件中应增加工程条件变更条款,这实际上就是根据隧道工程施工中的实际情况对招投标时签订的合同条款进行必要的修改,使之更符合工程实际。这些变更条件包括地质水文条件变化、岩(土)层特征与支护衬砌的变化、开挖土石方的变化等等。在实际情况与合同规定发生差异时,则应予变更。共同承担风险是解决问题的根本原则和出发点。

(3)对于经济方面的风险,如通货膨胀,汇率、汇兑限制等在合同条款中都应做明确的规定。FIDIC 条款第 70 条规定“应根据劳务费和(或)材料费或影响工程施工费用的任何其他事项的费用的涨落对合同价增加或扣除相应的金额”。说明工程价格应根据实际所发生的费用进行计价,尤其是通货膨胀、货币兑换不稳定时期和长期工程合同中,业主不应为了业主最大利益而要求投标者作不带调整规定的固定价格的报价。其实质就是该风险由业主承担。

(4)对于工程设计不当造成的工程损害,必须分清责任。若由承包商提供或负责设计的部分,承包商应自费改正;若非承包商设计的部分已对工程造成损害,则由业主或设计方承担此责任。

(5)对于自然界的不可抗力(如地震、天灾等)和人身伤亡等意外事故,双方可联名或分别进行保险,遇到风险后可向保险公司索赔,从而转移风险。

风险一旦出现,承包商为了获取索赔,必须提供足够的证据,包括及时详细的数据资料、实验数据、录像、照片等文件。处理索赔事件时,应以协商为主、风险分担的原则,最大限度的利于工程进展和双方的权益。风险处理流程及步骤要求可参见 FIDIC 条款和国际隧道协会的《关于合同风险分担建议》。

## 4 对我国隧道工程风险处理的建议

(1)建设双方都应有风险意识,在合同签订时,应尽可能多方面考虑工程中可能出现的风险,双方协商写入合同条款,避免日后风险出现时发生争议,影响工程进展。风险的处理应以双方共同承担为原则,正确对待风险问题。只有这样,合同双方才能在合同执行过程中尽可能处理好自己份内的事情,从而减少不必要的扯皮,有效地控制工程造价和工期。

(2)正确对待索赔问题。风险出现时,一般就存在索赔问题。在国际惯例中,将承包商或业主根据合同文件提出正当赔偿或支付的要求叫索赔。索赔是合同双方各自应该享有的权利,是在正确履行合同的的基础上争取的合理偿付,而不是无理的争利。合同一方提出索赔,应以事实为根据,以合同(包括各种适用规范、法规等)为准绳,进行协商解决,协商不成,再进行调解,最后才是诉讼。不过在处理索赔时,应以协商为主,以最大限度地利于工程建设和双方权益为原则。

(3)认真执行招标投标制,建立一套适合我国国情的风险索赔制度。尽管过多的提出索赔

要求比较容易引起业主和承包商之间的争端,但如果处理得当,也有有利于工程建设的一面,它能促使工程合同进一步完善,增强合同双方遵守合同、执行合同的意识,有利于建设市场的正规化、法制化。

(4)建立健全监理机制与全面提高监理人员素质是确保合同全面执行的关键。监理工程师要具有对工程造价、工期、质量等进行全面控制,及协调、解决合同执行过程中出现的各种争端的能力,就必须有技术、经济、合同管理、法律等多方面的综合知识。同时监理工程师在处理索赔时应以完全独立裁判人身份出现,绝不偏袒徇私,即使该判决对自己或业主不利,也要秉公办事,这就要求监理工程师具有良好的个人品德。监理制度在我国全面推广时间还不长,监理人员的素质参差不齐,加上部分合同条款的不明确,使其在风险处理时还存在很多人为因素,不利于工程建设和管理水平的提高。

(5)重视工程项目的保险。隧道工程因其特殊性,施工风险较一般地面工程要大得多,一旦发生自然灾害或意外事故,其损失也很大。因此建设双方应根据工程的实际情况,选择合适的保险公司、合适的保险种类进行投保。此举尽管会付出一定量的保险费,但在遭受大的损失时将会得到大额补偿的保障,从而达到转移风险、增强抵御风险能力的目的。

总之,提高隧道管理水平,首先应从隧道建设全过程的管理入手,制定出符合我国国情的风险分担条款,规范建设市场,从而使隧道建设的造价和工期得到有效的控制,隧道的施工管理水平、技术水平上一个新台阶。

# 深汕高速公路鲘门隧道口有害气体排放问题的探讨

杨 力 卜 剑 陶子政  
(广东省高速公路中心试验室)

**摘 要** 鲘门隧道是深汕(深圳—汕头)高速公路全线有害气体浓度最高的路段。本文着重阐述了该隧道口有害气体的排放和分布规律,为其它隧道通风系统的设计及空气污染的治理提供科学的依据和参考。

**关键词** 鲘门隧道 有害气体 浓度分布 排放规律

## 1 引言

目前国内的公路隧道在进行通风系统的设计时,首先研究的是洞内的污染空气负荷问题,而很少考虑隧道口外的空气污染。随着公众对环境质量的日益关注,隧道口附近的空气质量往往成为整个隧道工程对环境质量影响的关键,显得是尤其重要,应引起足够的重视。深汕高速公路西段鲘门隧道位于海丰县鲘门镇朝面山,全长 1320m,采用双洞四车道。洞内的汽车尾气由通风系统从洞口排出,含有大量的一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物、碳烟和悬浮微粒物等对人体有害的成分,像两座横卧的大烟囱。目前隧道的日平均车流量为 8000 ~ 110000 辆,较 1997 年底的 50000 辆增长了一倍。隧道口有害气体的排放量呈现出增长的趋势,对附近的空气质量有显著的影响。

## 2 对空气质量的影响

鲘门隧道口的废气排放物中,有害的气体成分为一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物、碳烟和悬浮微粒物。对附近空气质量影响最大的成份是  $\text{NO}_x$ (氮氧化物)、碳烟和悬浮微粒物。 $\text{NO}_x$  刺激人的呼吸道,而碳烟和悬浮物则易于沉积在人的肺泡上,长期生活在这些高浓度污染物的环境中,容易引起呼吸道疾病。碳氢化合物虽对人体无直接的危害,但在出口附近,在阳光的作用下会与氮氧化物发生化学反应而生成光化学烟雾,会降低大气能见度,同时还会刺激人的眼睛。一氧化碳是燃料不完全燃烧的产物,在正常通车的情况下,不会产生很高的排放量。鲘门隧道管理站大楼位于左洞出口和右洞入口之间,长期处在高浓度的排放物之中,属于重污染区,对工作人员的工作生活和监控设备的使用维护都有较大的影响。附近的村庄居民点距离左洞出口约 80m,环境空气受到轻度污染。

### 3 有害气体的浓度分布

我们从 1997 年底开始,在鱼门隧道左洞出口附近不同的方位上布点,每季度进行定期的空气质量监测,并同时监测气温、风速和风向等气象因素以及车流量。所有的监测工作均按照国家环保局颁发的技术规范进行。经过近三年的监测分析,我们初步发现了鱼门隧道口汽车排放物中有害气体的排放分布规律。

#### 3.1 NO<sub>x</sub> 的浓度分布

高速公路通车前朝面山的 NO<sub>x</sub> 背景值为 0.035mg/ m<sup>3</sup>。国家《环境空气质量标准》二级标准为 0.10mg/ m<sup>3</sup>。但高速公路通车后在隧道出口处,空气中的 NO<sub>x</sub> 浓度是其它路段的几十倍,150m 外能监测到 NO<sub>x</sub> 的超标情况,而有风的情况下,下风处的超标范围更远。现将监测到的 NO<sub>x</sub> 的浓度日平均值的范围统计列表 1,并绘制出 NO<sub>x</sub> 浓度分布示意图(图 1 至图 4)。由图 1 可见,在无风的条件下,NO<sub>x</sub> 浓度呈半椭圆状分布。由于隧道出口有翼墙的屏蔽,风机的鼓风作用和车辆出洞时的活塞风作用,使得椭圆的长轴在隧道的正面,而短轴在两侧。在有风的条件下,NO<sub>x</sub> 的浓度分布则变成为各种不规则的形状,如图 2 至图 4 所示。

鱼门隧道左洞出口 NO<sub>x</sub> 的浓度日平均值范围 (NO<sub>x</sub> 浓度单位:mg/ m<sup>3</sup>)

表 1

隧道口	到洞口距离 m	5	50	100	150	200	250
正面方向	NO <sub>x</sub> 浓度范围	0.699 ~ 1.156	0.367 ~ 0.687	0.108 ~ 0.353	0.054 ~ 0.186	0.051 ~ 0.142	0.046 ~ 0.092
隧道两侧	到洞口距离 m	5	50	100	150	200	250
方向	NO <sub>x</sub> 浓度范围	0.428 ~ 0.875	0.259 ~ 0.601	0.089 ~ 0.195	0.045 ~ 0.168	0.037 ~ 0.098	0.036 ~ 0.088
国家环境空气质量标准 (GB 3096—95) 二级标准					0.10		

图 1 无风时 NO<sub>x</sub> 浓度分布

图 2 有风时 NO<sub>x</sub> 浓度分布

#### 3.2 其他有害气体的浓度分布

一氧化碳扩散较快,一般只在离洞口 50m 的范围内监测到超标现象,风速大于 3m/ s 时下风处 80m 的范围内能监测到超标。100m 以外,一氧化碳的浓度基本上达到空气中的正常含量。碳氢化合物在隧道出口正面方向 60m 范围内浓度为背景值的 2 至 5 倍,两侧方向 30m 外未见异常。碳烟和悬浮微粒物在无风和微风的条件下,在出口正面约 150m 和两侧 80m 的范围内逐步沉降和扩散,在此范围外很少监测到超标。

图 3 无风时 NO<sub>x</sub> 浓度分布

图 4 有风时 NO<sub>x</sub> 浓度分布

## 4 影响因素

有害气体在扩散过程中,受到风速、风向和气温的影响。

风向不与行车方向逆向时,能加快洞口有害气体的扩散速度。风向与行车方向逆向时,会抵消一部分风机的风力,使有害气体扩散减慢。鲛门隧道为东西走向,洞口外地形开阔,而当地的主导风向为南风,有利于废气的扩散。

天气晴朗、光照强、气温高的条件下,NO<sub>x</sub> 等气体容易光解,有利于其浓度的衰减。

## 5 结语

鲛门隧道口附近约 100m 的范围内,为有害气体浓度密集区。200m 的范围内,空气质量受到影响。随着粤东经济的发展,深汕高速公路的车流量正在以 30% 的速度逐年增长,鲛门隧道有害气体的排放量也在随之增长,这样会加重洞内外的空气污染,对隧道管理站的工作人员和附近居民带来一定的影响,还会在汽车出洞时影响驾驶员的视线。传统的通风系统,只能有限地稀释洞内的污染空气,而排放到洞口外的有害气体得不到有效的处理。解决这一问题的根本途径,除了选择好的通风系统外,还要在洞内加设空气净化装置,采取稀释和净化相结合的办法。在这方面,一些发达国家起步较早,有许多先例值得我们借鉴与学习。早在 1975 年,日本就开始研究隧道用静电除尘器,并于 1977 年在北陆公路的日野山隧道投入使用。瑞典的斯德哥尔摩环行公路隧道安装了 18 个除尘器。目前,许多国家又在研制能综合处理 NO<sub>x</sub>、一氧化碳、烟尘等多种有害气体的净化装置。

另外,加强洞外的绿化也是净化洞口空气的有效手段。根据当地的气候条件,可在洞口的遮光棚上种植藤类植物,还可在洞口上方的边坡上和两洞口之间的空地上种植低矮的阔叶类植物,以达到吸收有害气体和烟尘的目的。

# 京珠高速公路坪石隧道 围岩变形预报的人工神经网络方法

周建春

何江陵

(华南理工大学交通学院) (广东省高速公路公司)

**摘 要** 本文对人工神经网络方法在京珠高速公路坪石隧道新奥法位移监控量测与预报中的应用进行了研究,并对改进的 BP 算法进行了讨论。

**关键词** 京珠高速公路 坪石隧道 围岩变形预报 人工神经网络

## 1 引言

在公路隧道新奥法施工过程中,监控量测工作是一个重要的技术环节,其中位移监测包括地表沉降、洞内拱顶下沉、周边水平位移等项目的量测,对于设计和施工又起着极其重要的作用。在监控量测过程中,基于已量测数据的分析,对隧道重要地段和部位的变形趋势和数值进行适时的分析预报,对于把握围岩变形规律、确定围岩变形稳定和收敛的时间、进而确定二次衬砌施作的合理时机,都有着重要的现实意义。

针对上述课题,许多学者做了大量的研究工作,所采用的方法也多种多样,如回归分析等统计方法、非线性曲线拟合、灰色预测、时间序列分析等。其中各种方法各有优缺点。本文结合京珠高速公路坪石隧道新奥法施工监控量测工作的实际,讨论应用人工神经网络方法中的 BP(误差反向传播)网络模型进行围岩变形预报的问题,并结合实际工作探讨了加快网络训练收敛速率的策略。

## 2 变形预报模型的构造

图 1 是具有一个隐层的 BP 神经网络模型示意图,它的输入层有  $R$  个神经元,每个神经元都通过一个适当的权值与下一层神经元相连,隐层具有  $S$  个神经元,输出层有  $S$  个神经元。由人工神经网络理论知,其网络训练的步骤如下:

1) 初始化 权值矩阵和各隐层阈值向量赋予随机数作为初始值

$$\begin{aligned}w_{mn} &= \text{Random}(0), b_m = \text{Random}(0) \\(m &= j, k; n = i, j; i = 1, 2, \dots, R); \\(j &= 1, 2, \dots, S; k = 1, 2, \dots, S)\end{aligned}\quad (1)$$

2) 设样本总数为  $Q$ , 依次将各样本输入到网络中,第一次输入时取  $n = 1$ ;

3) 计算

$$x_j = F \sum_{i=1}^R w_{ji} x_i + b_j \quad (2)$$

$$y_k = F \sum_{j=1}^{s_1} w_{kj} x_j + b_k$$

式中  $F(x)$ 、 $F(x)$  为传递函数, 这里取

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

$$F(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

对任一输入样本, 网络训练的收敛准则是

$$(t_k^n)^2 + (y_k^n)^2 < \quad (3)$$

若上式满足则停止训练, 否则计算直至满足精度为止, 其中  $\epsilon$  是指定的收敛误差限,  $t_k$  为目标向量。

图 1 BP 神经网络模型

4) 求各层误差

$$\delta_{kj}^n = (t_k^n - y_k^n) y_k^n (1 - y_k^n)$$

$$\delta_{ji}^n = \sum_{k=1}^s \delta_{kj}^n w_{kj} x_j^n (1 - x_j^n) \quad (4)$$

5)  $n = n + 1 = Q$  回到样本 1 重新计算  
 $Q$  继续逐样本计算

6) 计算和修正权值矩阵

$$w_{kj}(n_0 + 1) = w_{kj}(n_0) + \eta \delta_{kj}^n x_j^n \quad (5)$$

$$w_{ji}(n_0 + 1) = w_{ji}(n_0) + \eta \delta_{ji}^n x_i^n$$

其中  $\eta$  为动量因子。

在上述算法中可能存在收敛速度慢和陷于局部极小值, 为此需要采用学习率自适应调整的策略, 从而提高学习速度并增加算法的可靠性。具体方法是, 在权值修正公式中, 引入学习率  $a$  (其中  $a > 0$ ) 有

$$w^{k+1} = w^k + a[(1 - \eta) D(k) + \eta D(k-1)] \quad (6)$$

其中  $w^k$  表示权值矩阵,  $D(k)$  为  $k$  时刻的负梯度

$$D(k) = - \frac{E}{w(k)}$$

学习率自适应调整策略有利于缩短学习时间, 它采用的算法是

$$w^{k+1} = w^k + a(k) D(k) \quad (7)$$

其中

$$a(k) = 2 a(k-1)$$

$$= \text{sign}[D(k) D(k-1)]$$

具体计算时, 当连续两次迭代其梯度方向相同时, 表明下降太慢, 这时可使步长加倍; 当连续两次迭代其梯度方向相反时, 表明下降过头, 这时可使步长减半。

根据上述算法, 本文使用 FORTRAN 语言编制了微机 BP 神经网络训练与仿真程序 BPANN。下面结合实例来说明本文方法的实用性。