



# 论我国隧道和地下工程技术 的研究和发展

郭陕云 教授级高级工程师

中国土木工程学会隧道及地下工程分会 理事长

# 前 言

- 我国正处于社会经济大发展的重要时期，国民经济结构中基础设施建设一直占有举足轻重的地位。近些年来，在工程建设的众多技术领域隧道和地下工程技术十分突出，它有着越来越多的广泛运用和夺目诱人的商业前景。隧道和地下工程技术以开发利用地壳潜在资源为目的，进而能够更好地实现环保、安全、便利、节能和经济的工程要求。我国广大工程技术人员在这方面已经做出了大量的努力和杰出的贡献，并取得了举世瞩目的成就。在新的世纪，我们更需要进一步加强对隧道和地下工程技术的运用研究，促进其更加快速的发展，同时对我国扩大内需拉动经济增长，早日实现小康社会、加强国防安全有着十分重要的作用。

# 报告分三个部分：

一、我国隧道和地下工程发展的状况和主要问题

二、我国隧道和地下工程发展的方向及实施内容

三、我国隧道和地下工程发展的目标及保障证措施

# 一、我国隧道和地下工程发展状况和主要问题

- 据来自于各方面的统计资料表明，到至2003年年底，我国大陆上已建成的铁路隧道有七千四百余座，总延长4200公里；公路隧道一千九百七十余座，总长度近1000公里；已建成运营的城市地铁总长近200公里；此外，还建成大批地下厂房、地下设施和LPG等洞库工程。从最近几年的建设规模和速度来看，铁路隧道和公路隧道分别约以每年300公里和150公里的建设速度在增长。正在规划、设计和建设中的南水北调、西气东输和水电工程、LPG工程，也为隧道和地下工程事业的发展带来了新的、更大的机遇。总之，从隧道和地下工程的数量、规模和建设速度来看，我国堪称世界之最。这是值得我国广大的隧道和地下工作者引以光荣和自豪的。

- 就隧道工程的修建技术水平而言，我国经历了上个世纪五十年代及以前的钢钎、铁锤和人力斗车为代表的手工操作的年代；六、七十年代以手持风钻、风动装岩机和电瓶机车、斗式矿车为代表的小型机具施工阶段；八十年代以进口液压凿岩台车、履带或轮式装载机、轨行式扒装机和大型运输汽车、组合列车为代表的大型机械化作业时期；九十年代以西安至安康铁路秦岭隧道使用大型全断面隧道掘进机（TBM）为代表的现代化施工水平出现。在克服不良工程地质修建长大隧道的能力上，我国所取得的成就也是非常突出的。六十年代我们建成的号称“地质博物馆”的成昆铁路；七十年代我们建成的位于溶岩发育地区的湘黔、枝柳和贵昆铁路；八十年代我们建成了难度空前的衡广铁路复线和规模宏大的大秦重载铁路，特别是战胜了突泥、涌水的地质灾害，通过了长达数百米的断层破碎带以及大量的软弱地层，成功地修建了长14.295公里的大瑶山隧道、6.06公里的南岭隧道和8.7公里的军都山隧道；九十年代我们又建成了侯月、宝中、京九、南昆和朔黄铁路，隧道工程所遇到的主要不良地质为煤层瓦斯、膨胀性围岩、古河槽及湿陷性黄土。



- 进入二十一世纪初，新建成通车的内昆铁路桥隧占线路总长的比率为国内运营干线铁路之最。多座隧道通过滑坡体和岩堆。突出的如曾家坪子一号隧道，进口端三线大跨，车站伸入隧道内270余米，最大开挖跨度达20.6米，全部处于岩堆内，施工难度极大。目前正在紧张施工的渝怀铁路，隧道占线路总长的比重超过内昆铁路，线路中段所经过的石灰岩地层岩溶极其发育，历史上曾被宣告为铁路修建的“禁区”。其中圆梁山隧道长11.068公里，大部分地段通过富水区和高压富水充填性溶洞区，灾害频发，被国内工程专家共认为是“世界级技术难题”。但是，这只“拦路虎”已被隧道建设者们所制服。正在修建的青藏铁路，建设者们克服了高原缺氧的恶劣条件在多年冻土中完成了昆仑山隧道、风火山隧道，创造了又一世界之最。公路隧道的修建水平提高很快，长隧、大跨及连拱相继出现。继4.6公里的华蓥山隧道之后，18.6公里的秦岭隧道正在修建中。

- 我国大陆水下交通隧道始建于1987年浙江宁波，采用沉埋方式穿越甬江底部。之后广州珠江、上海黄浦江也都成功修建了沉埋隧道。上个世纪的九十年代上海市使用盾构机穿越黄浦江。最近几年，已在长江和黄河下建成有输气管道和小直径盾构隧道。位于长江上游的重庆市正在修建直径6.4米的江底排污盾构隧道。至此，我国水下沉埋隧道施工技术和盾构隧道施工技术臻于成熟。目前，武汉、南京、上海都有过江隧道的计划，将使用直径13米左右的大型泥水盾构机。厦门市正筹备采用钻爆法施工修建东通道海底隧道，它将是我国大陆首座越海隧道，意义非常重大。

- 近十多年来，我国在**大断面隧道和洞室**的修建上也有突出的业绩。湖北清江水电站的导流洞最大开挖断面为 $18 \times 24$ 米；黄河小浪底水利枢纽工程导流洞开挖断面为圆形直径18米；一些大型水利水电工程的地下发电洞室，断面达几百平方米乃至上千平方米。北京国家计委大楼下的地下停车场为暗挖施工双层双洞，单洞跨度达13米，创城市地下洞室暗挖的成功范例。之后，北京地铁天安门西站、天安门东站的暗挖施工技术都有新的发展。广州地铁越秀公园站设计形式独特，由多条暗挖隧道组成，周边高层建筑耸立，施工难度很大，已建成投入运营。地下储气、储油工程的开发为建设大断面洞室提出了新的需求。已经投入运营的汕头LPG工程最大开挖断面达304平方米。目前正在规划和在建LPG工程的城市有青岛、宁波和珠海等。



- 我国大陆自1965年开始在北京修建地铁至今近40年，其发展规模和修建技术水平大致可分为三个阶段。60~80年代，仅北京、天津修建地铁，上海尚处于研究试验时期。修建技术无论是车站还是区间均采用明挖顺筑的方法。80~90年代，上海、广州也陆续开始修建地铁。在北京开始采用浅埋暗挖法修建区间隧道，用盖挖法、洞柱（梁）法修建车站。在上海、广州地铁区间隧道施工已使用盾构机。进入新世纪以来，地铁建设步入快速发展时期，南京、深圳等城市地铁相继开工；北京、上海、广州、天津等城市地铁建设规模急速扩大；重庆、武汉、大连等城市轨道交通开始建设，还有许多城市也开展了城市轨道交通或地铁的前期工作。地铁修建技术日益进步，如明挖法、盖挖法、洞柱（梁）法、沉埋法、盾构法、浅埋暗挖法（包括大跨浅埋暗挖和平顶直墙浅埋暗挖）及钻爆法都已接近或达到了世界水平，有些方面甚至达到了世界先进水平。

就上述我国隧道和地下工程发展状况来看，我们的修建技术水平不但能够满足国家基本建设的需要，而且进步速度快，发展势头好。成绩是令人鼓舞的，但是我们也应该看到发展中所存在的问题和不足。尤其是我们目前隧道和地下工程的技术水平和运用程度与先进国家相比较，还有较大的差距，主要表现在以下几个方面：

1、工程决策缺乏长远的、全面的考虑，缺少环境保护和工程经济的合理比较，隧道和地下工程的技术优势往往受到使用上的限制，不利于隧道和地下工程的发展。

2、建筑市场缺乏有效的制约、制衡机制，建设项目管理混乱；《合同法》、《招标法》等国家法律、法规不能认真贯彻执行；很多地方存在恶性竞争，压价中标，人为导致工程项目实施困难重重的现象。

3、产业化程度低。施工机具、设备和建筑材料品种稀少，品质低劣；如象TBM、盾构机等大型设备的中心部件和特种材料仍依赖进口，不利于工程质量水平和效益水平的进一步提高。

4、施工队伍专业化水平不高，甚至鱼龙混杂，作奸犯科；施工管理能力薄弱，现场上高素质人才奇缺；施工机械化水平，信息化水平普遍较低，以致造成工程隐患多，质量事故时有发生。

5、工人劳动强度大，环境条件、劳动保护很少达到规定标准，人身事故多。

6、对工程运用和维护技术缺乏研究，对工程设施在运营中的功用、安全、寿命和费用缺少科学的分析及相应的保证措施，影响了工程设施效益的最大发挥。

## 二、我国隧道和地下工程发展的方向及实施内容

“以人为本”应该是我国隧道和地下工程技术研究和发展的方向。我们的一切工作目的都是为了促进社会的繁荣和进步，国家的富强和安全，人民的幸福和健康。隧道和地下工程技术较他类工程技术有其独特性：它历史悠久，向上可以追溯到远古人类的穴居时代；它业绩辉煌，长达数十公里的现代化海底大通道显示了人类崇高的愿望和无比的智慧；它前景无限，在不断地拓展着人类生存的时间和空间；它既繁杂又奥秘，涉及许多门学科知识却又充满着未知数。但是，隧道和地下工程技术也是科学，是一门综合性的应用学科，有其普遍的规律。总的来说它可以归纳为三个大的方面：（1）运用设计技术；（2）修建施工技术；（3）维护管理技术。

# （一）运用设计技术

- 1、工程运用的研究。

- 隧道和地下工程技术的运用相当宽泛，按照不同的使用功能可以分成若干类型，而每一类型的工程都有一些重大课题等待我们去研究、开发。

## 1) 交通隧道

我国跨海交通隧道修建尚属空白，大陆海岸线18000多公里，沿海分布着5000多个岛屿，众多海峡、海湾隧道方案是必要的和可行的。占有国土面积三分之二的西部地区多为高山重丘地形，其陆地交通的解决首先依靠长大隧道工程的实现。中国已有大小城市600多个，且城镇化的发展速度在加速进行，人口在百万以上的大、中城市近50个，其主要特色是交通拥挤。解决城市交通问题轨道交通占有重要位置。初步预测2010年前至少要建设轨道交通500~600公里，2020年我国城市轨道交通将达到2500~3000公里，其中半数以上为地铁



## 2) 物流隧道

隧道可用来作做为输水、输电、输气、输物等通道。我国水电资源开发集中在西南山区，长大输水隧道和大规模的地下发电厂房将会是工程的重要组成部分，数量庞大。南水北调中线方案已有越岭和穿河隧道工程，其西线方案将有上百公里长的隧道出现，其规模会是世界之最。此外，还有大量的输水、输电、输气、输热、排污、送物等隧道工程作做为基础设施建设被越来越多地采用。

## 3) 地下仓储

油、气的战略储备在我国仅刚刚开始，联系到石油储量、国际局势及人们对汽车交通的大量需求，我们开劈地下水封液气库（LPG）的任务十分迫切，且非常繁重。粮食的战略储备已经列入国家重点工程项目，大型地下粮库的规划、论证、选址和设计应进入地下工程的研究课题。

#### (4) 地下厂房、店铺等

我国土地资源相对贫乏，城市和东南沿海经济发达地区土地尤其珍贵，所以开发和利用地下空间十分必要。可惜我们在这方面作得很不够，浪费了大量的地下空间资源，并加剧了有限的土地资源的紧张程度。况且某些厂房和设施进入地下则更为有利。

#### (5) 国防、人防工程

#### (6) 其它用途的地下工程

如采水、开矿和建筑物基础处理等等，使用范围广，但是都会有其针对各自特点的工程技术问题。

## 2、工程设计技术。

隧道和地下工程设计是一门专业性很强的独特技术。其在于工程介质是地壳，由固、液、气三相构成，物理力学特性不连续。所以有很多设计参数事先不能确定，设计者要在定量和定性之间来把握，难度相当大，一靠工程经验，二靠理论知识，三靠工程试验。其特点是设计全程与工程地质状况联系紧密；设计结果与施工配合才能完善。由此，专家们提出了信息化设计和施工的概念。奥地利、意大利的学者总结出了隧道和地下工程的新奥法原理和设计、施工准则。根据我国隧道和地下工程技术的发展现状，在设计技术研究上我们应做以下几项工作。

- (1) 制订工程可行性研究的科学标准，从全面、合理、长远出发，提出隧道和地下工程方案与其他工程方案的经济、技术比较参数，为政府提供工程方案决策的依据。
- (2) 隧道和地下工程的结构力学和岩土工程力学相互关系的研究；隧道和地下工程建筑物的使用功能与断面形状、尺寸的关系，以及附属建筑物设置的研究。
- (3) 隧道和地下工程的实施对周边环境的影响，如对各种建筑物、对地下水系、对地层原应力场和人居生态环境等的影响。

- （4）对隧道和地下工程通风、照明和节能的研究；对地下工程防、排水结构及其措施的研究。
- （5）各种类型的隧道和地下工程设计规范和技术标准的研究和制订。目前，城市地铁的标准体系亟待制订和完善，并能实现全国统一，以利于设备国产化、系列化和降低工程造价，增进工程效益。
- （6）隧道和地下工程设计数据库的建立和智能化设计的研究、推进。

## （二）修建施工技术

近些年来，随着国家基建规模的不断扩大，隧道和地下工程施工技术进步很快，但是就施工现状而言，却存在着不少的问题。它主要表现在管理落后，效益低下，预案不足，干扰过大，速度不快，质量不高等六个方面。因此对修建施工技术的研究和推动仍是我们的主要任务之一。重点有以下几个方面：

### 1. 工程地质与水文地质情况的预探、预报技术管理

现有手段不少，但准确度低，可靠性差，现场普及率则更低，所以造成预案不足，盲目施工，甚至酿成祸患；更重要的是现场缺少专业地质人才，即使有预探手段，也形同摆设。这种面貌必须改变。



## 2.施工构筑方法、工艺和辅助工法的研究

隧道和地下工程施工始终在地层应力的转换和建筑物结构应力的转换过程中进行，所以构筑方法和工艺对施工安全和工程质量有着直接的影响，规范施工行为非常重要。此外，辅助工法的出现是隧道和地下工程施工的重要特点之一。辅助工法多用于围岩和地层的力学特性的改善和加固；施工基坑和坑道周边及底部的维护和固定；施工中疏水、排水、降水和堵水等等。如注浆、桩墙、冷冻、锚固、喷护等工法均为隧道和地下工程施工中的辅助工法。辅助工法十分重要，很多情况下关系到主体工程施工的成败。由于辅助工法不到位而招致工程事故甚至工程失败的例子很多。所以加强辅助工法的研究开发是隧道和地下工程施工的关键环节之一。

### 3. 施工机械装备水平的提高和劳动环境条件的改善

隧道施工作业机械化水平直接影响到工人的劳动强度、安全状况、工程质量和劳动生产率的高低。我们的施工现场与世界先进国家相比，在施工机械化水平方面有明显差距。国家工业化程度低，劳动价格低廉是施工机械化水平提高的主要障碍。但是应该看到，中国的经济在逐步与世界接轨，我们应该缩小与世界先进装备水平的差距。在“以人为本”的前提下，改善工人的劳动环境和作业条件，不断提高工人工资收入水平和待遇水平应该是我们的努力方向。

高科技的机械化施工手段是隧道和地下工程施工能力的重要体现和标志。没有凿岩钻孔设备的进步，光面爆破、预裂爆破技术是不可能普遍实施的；没有现代化的盾构机和隧道掘进机要在软弱、富水的地层中快速修建地铁和穿越数十公里的崇山峻岭也是难以想象的。因此，我们应组织力量进行隧道和地下工程专用设备的研究和开发，一方面抓施工设备的配套，借以提高施工生产效率，降低生产成本；另一方面抓高科技产品如盾构机、TBM等的研制，实现国产化、系列化，才能争取主动，加快隧道和地下工程建设的发展。

## 4. 适用建筑材料的研究开发

隧道和地下工程对其建筑材料的性能有着特殊的要求；不同环境条件下的隧道和地下工程对其建筑材料的性能要求又有所差异。但是我们普遍存在的问题是能用于隧道和地下工程的建筑材料品种太少，质量不高。我们应该动员和鼓励企业和研究单位能开发制造出来各种型号、不同性能的注浆材料、防水材料 and 砟添加剂及拌合物，并以此推进隧道和地下工程的质量水平有改革性的转变。

## 5. 工程结构防排水施工工艺的研究和推广

对水的处理和整治是隧道和地下工程设计、施工和维护的重要课题之一。它关系到工程设计功能的发挥和使用成本的高低。现实中由于设计上的疏漏和错误以及防排水材料和制品的性能差异造成工程渗漏水的情况是有的，然而由于工程结构防排水施工工艺达不到要求而造成工程防排水能力降低的现象则更为普遍。如防水板材被撕裂、穿孔或移位，衬砌结构背后排水系统被堵塞，底板或仰拱出现翻浆和冒水的孔道和裂缝等等。其原因除隧道和地下工程施工受空间狭小、涌水干扰和多为隐蔽的客观外，与施工人员把注意力仅放在主体结构施工工艺而忽略结构防排水施工工艺有关。这是应该重点纠正和加以研究解决的问题。

## 6. 施工管理技术和施工安全、质量技术的研究、推进和普及

隧道和地下工程施工的基本特点是：作业场面小，环境条件差，地质影响大，工序流程多。施工现场围绕着开挖、支护、构筑三大基本作业，和人、机、渣、料、水、电、风、气八个要素组成了多个作业循环，多条物流线。因此，施工组织管理就显得更加重要，要求科学配置、统一指挥、优化组合、动态管理，使之达到时间和空间的高度谐调，人和物的有机结合，进而才能实现安全、质量、效率、效益的最优。但是目前进行施工管理技术研究的人不多，这方面的力量非常薄弱。应用统筹学、概率论、优选法和现代化的电算手段对施工现场进行定量分析，不断改进施工管理，是件很有意义的工作。

施工安全和质量目标的实现，除了制度保证之外，还是要靠技术措施。所以对安全、质量技术进行研究、推广、总结和普及很有必要。如隧道防坍的技术、避免砼衬砌背面空洞的技术、砼防裂技术，等等，一直都是专家们关注的重要课题。

### (三) 维护管理技术

- 隧道和地下工程投入运营之后，维护、管理工作十分必要和重要。维护和管理搞得不好，工程设施不但能够安全使用，正常发挥设计功能，而且还可以延长使用寿命和降低运营成本。我国在土木工程设施的维护管理方面相对落后，往往是“想要马儿好，又要马儿不吃草”。所以在运营工程设施上重大事故时有发生，给人民生命财产造成损失。隧道和地下工程设施在运营中发生安全事故和使用功能降低的例子也很多，如74年发生在宝成铁路枫家坝1号隧道、85年发生在包兰铁路十里山隧道、89年发生在襄渝铁路梨子园隧道、98年发生在湘黔铁路镇远隧道的几起重大火灾事故，都是很典型的。因此应该加强隧道和地下工程运营设施的维护和管理，要投入必要的力量进行维护管理技术的研究和运用。其研究内容有以下几个方面：  
容



- 1、防灾、抗灾、救灾的研究。要有防止各种灾害发生的措施和检查制度；要有各种灾害发生后的抢救预案和准备；要有制止灾害发生和扩大的有效手段。特别是运输繁忙的交通大干线上的隧道设施和城市地铁的站区，更应该把隧道和地下工程设施的防灾、抗灾和救灾作为重中之重的大事来抓。
- 2、设施实际运营能力的研究。在很多情况下，由于经济的快速增长，基础工程设施投入运营后不久就便出现超负荷运行的现象。还有一种情况是将既有工程设施进行一定的更新改造或加固后便投入了高负荷的运行状态。设施的设计运营能力和实际运营能力是有差别的，尤其隧道和地下工程由于设计参数的可靠性差异较大，其运营能力扩大的潜力也很大。在确保安全的前提下，提高工程设施的运能无可厚非，但是一定要有量的概念，不可无限扩能，要对工程设施的实际运营能力进行研究。



- 3、设施状态的检测和评判的研究。已投入运营的隧道和地下工建筑由于外围环境的影响，周边介质的变化和荷载的长期冲击及疲劳，其结构状态和力学性能会发生变化，。有可能是渐变，也有可能积累为突变。要保证运营安全，就必须对设施现状进行准确的检测和科学的评判。就我国目前的情况看，在工程设施进行实地检测的手段方面和状态评判的体系及标准方面都需要做大量的、基础性的研究工作。
- 4、设施的维护、修补技术研究。在隧道和地下工程设施基本结构完好的情况下、对其存在的缺陷和产生的病害进行恰当的修补，可以达到延长设施使用寿命和部分恢复使用功能的效果。常见的项目有：
  - (1) 堵漏、治渗；
  - (2) 砼裂缝处理；
  - (3) 砼受损部位的嵌补；
  - (4) 结构加固。
- 该方面的技术已有一些，但新的技术仍然需要开发研究，主要在于提高维护、修补的效果。

## 三、我国隧道和地下工程发展的目标及保障证措施

- 可以用下面的几句话来描述我国隧道和地下工程事业的发展目标：

1、隧道和地下工程技术在中国大有可为，中国应该成为在隧道和地下工程方面的具有世界先进技术水平的大国和强国。

2、我国的隧道和地下工程的技术水平和建设能力应能满足我国社会持续发展的需要及我国人民不断增长着的物质、文化生活的需要。

3、隧道和地下工程建设要达到人与自然的和谐统一，达到地球资源的合理开发运用。

这是我们对隧道和地下工程事业发展目标的三个层次的要求。为实现这个发展目标，需要广大隧道和地下工程工作者的长期不懈的努力，需要全国人民及各级政府的支持。因此，我们向国家提出设立如下保障措施的建议：

**1、高度重视和加强工程可行性研究阶段的工作，改进决策体系，完善决策程序，提高决策水平。针对工程方案的比选和取舍，国家应制定各种情况下的不同需求的标准。在正常情况下，对于不可再生的自然资源和难以再造的生态环境，必须立足于保护。要充分利用隧道和地下工程技术在环境保护方面的有利因素。**

2、将隧道和地下工程作为一个相当规模的、综合性的产业来发展，制订有利于这个产业发展的相应的法律、法规和政策。如城市规划必须将土地、市政、房地产和人防统一考虑的法规；充分利用地下空间节约占用土地面积的奖励办法；地下设施建设要求“平战结合”、实现双重功能的实施条例；鼓励隧道和地下工程建设高新技术设备国产化、高科技产品自主开发的优惠政策，等等。

3、建立地下空间开发利用的统一管理体制。科学编制地下空间开发利用规划，使得地下管线、地下设施、地下交通分层设置，各有所归。并依据规划对重点地区和主要城市的地下空间开发利用进行引导、协调和管制。加强监督制约机制，强化对规划实施的监督，实现合理开发、充分利用、避免浪费、确保安全。

4、在有关政府部门内设立专门组织机构对国家地下空间资源进行管理。要测算我国地下空间资源总量，制订开发计划，建立各主要地区和城市地下空间开发利用信息数据库；实施技术立法，建立和完善各类地下工程设施的抗震、防火、防灾等设计标准；为国家和政府部门工程决策提供咨询。

5、要着力发展隧道和地下工程事业，必须立足于人才的教育和培养。国家教育机构应高度重视各土木院校隧道和地下工程专业的建设，首先是师资的配备和培养，再就是工程试验设备的投入。各个从事隧道和地下工程专业的企事业单位应立足长远，引进和培养本专业的各类高素质人才。隧道和地下工程专业是个艰苦、危险的行业，培养人不容易，留住人更难，需要从各方面做耐心细致的工作，要鼓励大家为隧道和地下工程建设事业做出贡献。



6、由于隧道和地下工程修建需要信息化、专业化的特性，国家应重点形成若干个大型专业工程建设集团，推行设计施工总承包，以利于建设管理和工程创优。如果能产生带有专业性的综合产业集团，那么我们所从事的隧道和地下工程建设事业的发展就会更快、更好，从而达到领先于世界的水平。

谢 谢 大 家！