

# 快速掘进论文集

毛光宁等 译

煤炭工业出版社

# 快速掘进论文集

毛 光 宁 等译

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

## 内 容 提 要

本书从1989年在美国召开的快速掘进与隧道工程国际会议的论文集中,选译了部分与矿井建设、隧道工程有关的工程地质、巷道支护、预制钢筋混凝土弧板衬砌、立井开挖、大硐室开挖、全断面岩巷掘进机的设计与应用,地铁及隧道工程,以及井巷掘进新技术等论文。这些论文反映了当前国外井巷和地下工程的技术水平与现状,有现实意义和参考价值。

本书可供从事矿井建设、隧道工程等地下工程工作的科研、设计、建设、施工、生产、教学、管理等部门的施工人员、工程技术人员和管理人员学习与参考。

责任编辑:孙金铎

## 快 速 掘 进 论 文 集

毛 光 宁 等 译

\*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本  $787 \times 1092 \text{mm}^1/32$  印张  $6^{5/8}$

字数 145 千字 印数 1—2,430

1992年4月第1版 1992年4月第1次印刷

ISBN 7-5020-0605-2/TD·555

书号 3379

定价 3.60元

## 译 者 的 话

1989年6月在美国召开了“快速掘进和隧道工程国际会议”。会议上美、英等国的专家就巷道和隧道掘进设计、施工、科研方面的成就提出了50余篇论文。这些论文涉及到隧道设计、隧道工程地质工作、新奥法原理、预制弧板做永久或临时支护、大断面巷道掘进、全断面或部分断面掘进机、硬岩掘进机、深井反井钻进、悬臂掘进机连续凿井系统、自动钻眼爆破系统等。这些论文反映了当前国际上巷道、隧道掘进的新技术、新方向。

我国矿井建设、隧道工程等地下工程发展很快，国际上有很多新东西值得我们学习、借鉴，如弧板支护在国外应用已很广泛，但我国刚刚起步，我们可从中了解到一些有关的知识。自动钻眼爆破系统使掘进人员可以不离工作面而进行钻眼、装药和爆破作业，为提高和改进钻爆法巷道掘进技术指出了新方向。我们从中选译了16篇论文，供我国矿井建设、隧道工程等地下工程科研、设计、建设、施工和管理部门的工程技术人员参考。

本书在编译、出版过程中，得到了中国统配煤矿总公司第一建设公司的大力支持与帮助，煤炭工业矿井建设情报中心站的协助，在此一并感谢。

译 者

1991年6月

## 目 录

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| “震动、滑动到稳定”——隧道设计·····   | 1   |
| 岩石隧道设计中的工程地质工作·····     | 15  |
| 新奥法地层支护原理及其应用·····      | 24  |
| 预制弧板临时支护在工程中的应用·····    | 39  |
| 软岩中大断面隧道掘进·····         | 45  |
| 基斯通隧道刷大断面工程的设计与施工·····  | 60  |
| 西雅图公共汽车隧道施工·····        | 75  |
| 常规的螺栓连接预制混凝土衬砌及其应用····· | 89  |
| 预制混凝土隧道衬砌的研究与应用·····    | 95  |
| 选用预制混凝土弧板衬砌和全断面掘进机施工    |     |
| 圣安多纽隧道·····             | 110 |
| 斯梯瓦特尔矿巷道掘进·····         | 123 |
| 深井反井钻进的应用·····          | 131 |
| 新型悬臂掘进机连续凿井系统·····      | 144 |
| 海峡隧道法国段施工·····          | 160 |
| 硬岩掘进机的研制·····           | 176 |
| 自动钻眼爆破系统的研究·····        | 189 |

# “震动、滑动到稳定”——隧道设计

D.B.德塞 J.L.曼立特 B.张

## 一、前言

本文论述了洛杉矶市大直径下水道线路所遇到的复杂地层条件，提出了在处于地震带的城市下地表浅部开挖下水道的问题及其解决方案，以及采用符合现代工艺规范的材料、技术和设备，详细讨论了下述专题：

- (1) 隧道穿过断层带时的土工技术方案；
- (2) 地震学家对隧道通过地区发生 6.5 级地震，可能产生断层错动问题的估计；
- (3) 关于“重现周期”的概率分析；
- (4) 隧道结构设计中有关注位移、轴向伸长或收缩和容许扭转自由度的计算；
- (5) 特种管接头。

目前，洛杉矶市地下有 9654km 的下水道和大量相关设施，为 300 多万居民、10 万多个商业网点和工业企业服务。最近，在环境保护方面，公众提出了更严格的要求，并支持改善污水排放计划，使污水排放不致严重污染环境。

打算改进希彼林污水处理系统，以适应由于人口增长而增大的处理量。另外还要着手建设一条北部出海口的新的下水道 (NORS)，以取代 20 年代初建成的现已年久失修的旧北部出海口下水道 (NOS)。改变北部出海口下水道选择的线路，共提出 19 个方案，以便尽可能适应地形、土工技术和地

理等方面的特点。选定的北部出海口下水道新路线（图 1-1），从罗德奥路与卡尔斯曼河的交叉点附近开始朝西拐，然后向南经过巴尔文山，同北部中央出海口下水道（NCOS）平行。线路继续向南，穿过圣迭戈高速公路和陵园东面的森

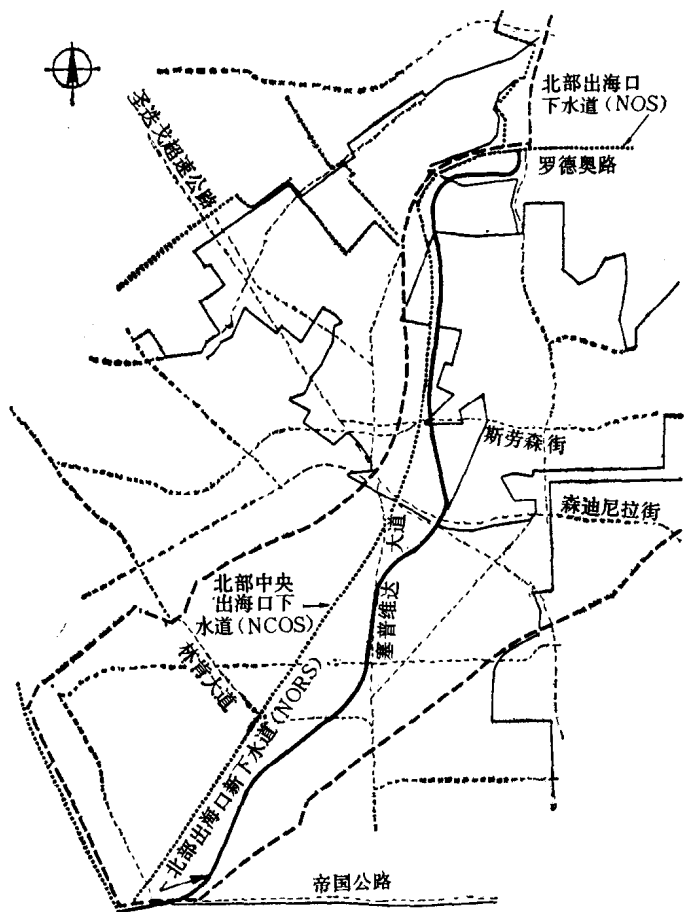


图 1-1 北部出海口新下水道线路平面图

迪尼拉街,然后转向西南到塞普维达大道,并继续沿着阿浮斯通街朝西南到威尔洛格巷和林肯大道。该线路继续向西南延伸到洛杉矶国际机场和帝国公路,进入希彼林污水处理厂。下水道长度为12.64km,隧道内径2.9~3.75m。

本文讨论北部出海口新下水道通过断层带的设计,着重介绍为洛杉矶市设计隧道最后得到的结论。

## 二、地质条件

北部出海口新下水道隧道将遇到前更新统到全新统的海相和陆相沉积地层,包括前更新统的圣彼德罗岩层,后更新统的赖克伍德岩层,后更新统和全新统的沙丘砂岩和全新统的冲积层。在隧道施工路线附近的圣彼德罗岩层,主要是固结得很硬的粉砂和粘土,偶而有砂和砾石。其余组成材料(赖克伍德岩层,沙丘砂岩和冲积层)主要是砂、少量粉砂和粘土沉积物。

隧道将穿过一些已探明的断层,包括纽波特英格伍德活断层带和可能是活断层的奥沃兰街断层及查尔恼克断层。隧道还将穿过斯劳森街附近的奥沃兰街断层(在陵园附近),而查尔恼克断层则位于洛杉矶市西恰斯特区的曼彻斯特街和特鲁克顿街交叉路口。

该地区还包括英格伍德和希彼林油田。虽然隧道距下部油田很远,但估计在隧道北部的油田区内圣彼德罗岩层的沉积物中会出现瓦斯。

除海湾地区一部分和巴德温丘陵区北端一段隧道外,大部分隧道在地下水位以上。北部出海口新下水道隧道设计考虑了影响土木工程的因素,如表土层、地下水的情况,以及油田和含有瓦斯的环境。

### 三、地震评估

因地震引起的土壤变形会传递给建筑物，建筑物必须能适应这种变形，即必须能抗震或抗断裂（错动）。一般观察表明，在相同的地震震级情况下，隧道的情况要比地面建筑物好些。

按照皮克等人（1972）的看法，隧道对于其周围的土壤介质具有一定的弹性，因而，隧道的震动运动几乎是与其周围紧邻的土壤震动运动相一致，而不会发生差动。隧道衬砌表面受到的剪切力，因震动一致而使隧道衬砌的运动与土壤中的运动相一致。

这种观察结果的唯一例外是隧道遇到断层带。北部出海口新下水道隧道被3个断层带横切。这3个断层带中，纽波特英格伍德断层带被认为是活断层带，而查尔恼克和奥沃兰街断层带被认为可能是活断层。

北部出海口新下水道隧道结构是按照美国混凝土协会颁发的文件和洛杉矶市工程局编制的手册进行设计的。由地震产生的载荷和有关内部力矩和力是以兰罗克朗道尔等人所提出的地层运动参数为依据的：

水平加速度 =  $0.3g$ ；

水平速度 =  $0.31\text{m/s}$ ；

剪切波速度 =  $240\sim 400\text{m/s}$ 。

编制通过断层带的抗震设计的第一步是仔细观测断层位置和确定其影响带。在地震评估的最初阶段，看来北部出海口新下水道隧道工程的最后几公里的工程会一次或多次遇到纽波特英格伍德断层带。断层的位置不能确切地圈定，设计人员尚未掌握断层在地表部分分布的重要数据，只能大概知

道在数百米范围内有断层存在。最终认为，最后50m下水道必须做出适应断层带的设计。

此外，假设地震震级为7.0级，影响深度也许在30570m，初步数据表明，断层错距可能达到0.7m。虽然几乎没有人相信今后几个世纪还会发生这样震级的地震及这样大的错动，但在实际上，甚至可能发生更大的地震和断层错动。历史记载表明，在北部出海口新下水道隧道整个设计服务年限（50年）中很可能发生6.5级地震。

#### 四、以地震研究为基础的概率分析

纽波特英格伍德断层带包括一系列较短、不连续、西北走向、呈梯形排列的断层，以及很多错综复杂的次要断层，多数走向为东北向。这是克莱伦斯R.奥林博士所做的结论，他对北部出海口新下水道隧道工程设计队曾做过的观测调研工作进行了研究。

根据查阅文献和与美国地质调查所的罗伯特先生交换意见，奥林博士进行了一种“重现周期”分析。他估计在北部出海口新下水道隧道附近的纽波特英格伍德断层，如在断层北部发生6.5级地震，则断层的滑移量平均约可达到20cm，如该地区内发生7.0级地震，则其滑移量平均约为45cm。奥林还指出，正如齐纳等人研究所得出的结论（1985）那样，巴德温丘陵的地形使人想到这一地区的地层位移并非全部是沿走向（水平的）的。齐纳等人的论文中也提出了垂直和水平位移相等的可能性。但奥林确定该地区主要是沿走向错动形成的断层。为了满足施工需要，他建议应估算出位移中水平和垂直组分的比率，及其在巴罗那山口地区发生的概率：

假设在各次地震中，水平位移量为垂直位移量的2倍。

奥林估计6.5级地震可能每800年发生一次，水平位移量为20cm；而7级地震可能每1600年发生一次，水平位移量为45cm。

## 五、过断层设计的基本方案

石油和天然气工业部门曾提出过管道穿越活断层的设计问题。在进行这类设计中，工程师们通常在布置穿过断层的线路方面有很大的自由度。但下水和供水管道在跨越断层的角度或其在地表下的埋深方面，他们很少，或者根本没有自由选择的余地。所以，石油工业的方案中只有某些一般的特点可以采用。

在设计北部出海口新下水道隧道前，仅设计过一条穿过断层的出海口下水道，即排放到太平洋的旧金山下水道和两条穿过断层的供水管道，并进行过一些上、下水道的修理工程。修理管道时曾用过多孔混凝土，灌注在管道下作为充填低凹处之用，并用这种材料完全包围住管壁以保护管道。使用多孔混凝土能在现场就地浇灌，并在特定条件下保持长期塑性平稳，它有许多优点，包括：

可使管道和自然介质之间有较大幅度的塑性配合，比不用这种材料要好得多；

可允许周围介质发生不连续的错动而不会影响管道，使其能避免发生不连续的位移；

可对施加在封闭管道上的横向和纵向力加以约束。

最初工程设计计算表明了采用多孔混凝土的好处，并得出这样的结论：管道周围浇注多孔混凝土是最可行的方案，而且是可供选择方案中最廉价的。可供选择的方案有螺栓连接的弧形钢板衬砌，玻璃纤维和塑性材料，以及波纹形或直

线形的厚度均匀的金属套管。在一般情况下，无法用常规手段来证明 20cm 的地层错动不会折断管道，但是至少会使管道严重折曲，也有很大可能发生断裂。采用波纹形或弧板形的材料甚至会产生更严重的问题。

设计计算以天然气和液体燃料输送管道委员会提出的方案为基础。图 1-2 表明下水道穿过假设的断层时，与断裂面的水平夹角  $\alpha$  和垂直夹角  $\beta$ 。图中表示一条正断层，在此例子中， $\alpha$  角约  $45^\circ$ 。图 1-2 还规定了管道的外径  $d_0$ ，隧道开挖直径  $D$ ，以及管道与砌碛隧道间环形空隙的厚度  $2\tau = D - d_0$ 。

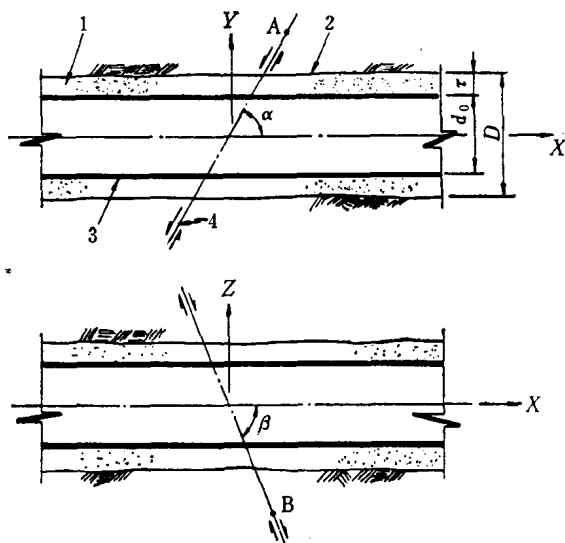


图 1-2 穿过断层而无变形的管道布置

1—管壁外充填物；2—隧道开挖边界；3—管道；4—断层面

在图1-3中，我们假设总的断层错位用 $\delta_{\text{总}}$ 表示，水平和垂直分量分别为 $\delta_{\text{h}}$ 和 $\delta_{\text{v}}$ 。此外，为了简化和保守地计算，假设

所有差动性位移距都发生在不连续的断裂面上（即土壤的剪切应变值为零），而且隧道随同土壤移动而不发生扭曲。因此，所有差动运动必须由管道和管壁外的充填物来调节。

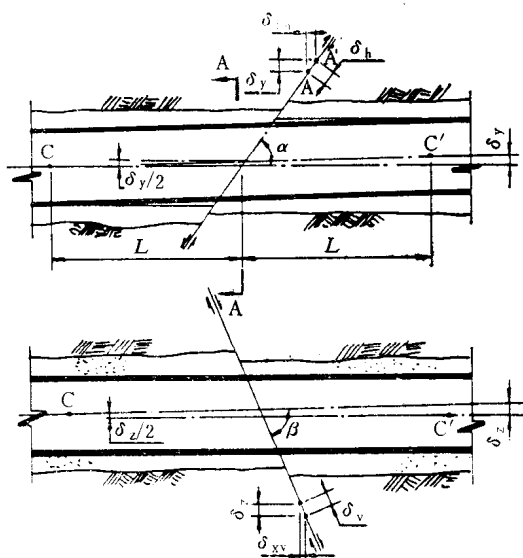


图 1-3 在断层错位 $\delta$ 后管道形状

从图1-3中可看出管道及其周围充填物靠压缩充填材料，缩短或转动管道来适应位移运动。图1-3中所示的是一条连续的管道，并表示有连续的轴线和挠曲应变变量。一节管子的状况基本上也是相同的，不同之处，只是管道发生变形时，几乎整条管线受影响，而且变形往往发生在管子接头部位。采用正确的设计，不会在断层位置发生管道变形，而可使变形量沿断层两侧的管路在距离 $L$ 内传递到固定点 $C$ 和 $C'$ （即管道轴线与隧道轴线保持重合的地点）。对此问题来说， $C$

和 $C'$ 都不是结构上的固定点，但其位置远近取决于管道和管壁外充填物的相对刚度，以及管道与管壁外充填物之间的剪切或摩擦力。

图1-4表明充填材料必须能承受最大的差动法向位移量，如图中所示的 $\delta_n/2$ ，而不让管道承受过大的载荷。为使充填材料有最大应变量 $\epsilon_A$ ，要求管壁与隧道壁间的环形空隙厚度 $\tau$ 值达到：

$$\tau = \frac{\delta_n}{2\epsilon_A}$$

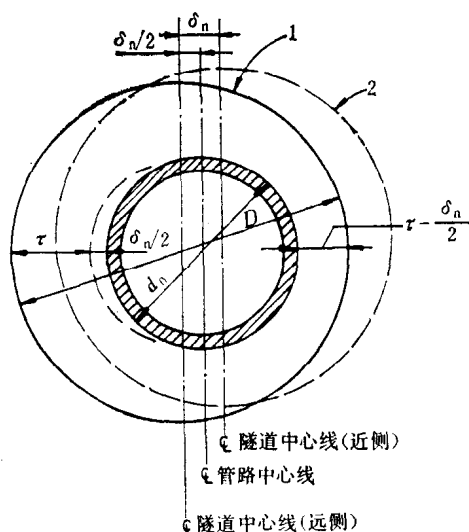


图 1-4 图1-3的 A-A 剖面

1—隧道衬砌边界（远侧）；2—隧道衬砌边界（近侧）

同样，管道部分也必须在长度 $2L$ 范围内能承受总轴向变形 $\delta_x$ 和总扭转变形 $\delta_n/2L$ （用于小角度）。对于分节管道

来说，管节的长度，管接头的轴向和扭转变形能力与下式表达的固定长度  $L$  有关：

$$L = \frac{\delta_x}{2x} l \quad \text{或} \quad L = \sqrt{\frac{\delta_n}{2\theta}} l$$

式中  $x$  ——管接头的伸长能力；

$\theta$  ——管接头的扭转能力；

$l$  ——预制管长度。

根据管接头的  $x$  和  $\theta$  的设计值，即可确定固定长度。由此，也能确定充填材料施加在管壁上的轴向和横向载荷以及弯曲力矩。

总之，为了正确地确定管道在过断层破碎带时所承受的横向载荷，必须适当地考虑下述因素：

(1) 应根据管接头的扭转和伸长（或缩短）能力来确定管道的固定长度  $L$ ；

(2) 充填材料的机械特性，主要是材料的屈服强度；

(3) 按预测不同方向的最大地层运动值来确定充填材料的厚度；

(4) 因管接头是管道中最薄弱的设计环节，应确定断层破碎带与管接头的相对位置。

对于分节连接的预制混凝土管，例如用于北部出海口新下水道工程的一种管道设计，作用于管壁上的横向力可以按图 1-5 所示的方法来确定。对于北部出海口新下水道工程，已决定采用一种可缩性高的合成橡胶垫片材料，以减少作用于管壁上的纵向力。

断层破碎带产生的横向和纵向力是联合作用的，还要加上适当的载荷系数，例如由于地层震动引起的垂直地压和地震载荷，应根据最严重的载荷联合作用条件来确定管道和管

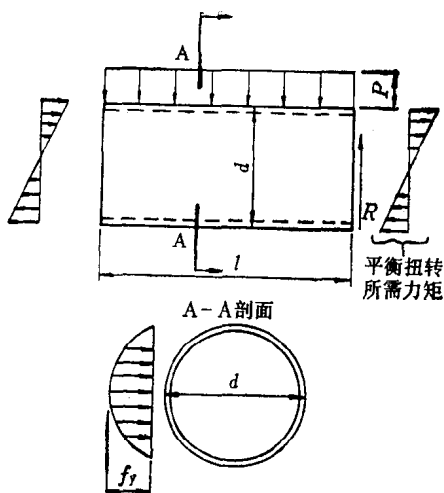


图 1-5 管道受力图

$d$ —管道外径； $l$ —预制管长度； $f_y$ —充填材料屈服强度（力/单位面积）； $P$ —管路上线性横向地压荷载（力/单位长度）， $P = 2/3 f_y \cdot d$ ； $R$ —管道需要平衡的作用力横向荷载， $R = P \cdot l$

接头的设计。由地震产生的地震载荷已有文件可查，包括充填材料上方的地层松散载荷、地震剪切波产生的震动变形以及由于地层运动引起的起伏曲折变形。

## 六、充填材料和其他材料的特性要求

基于上述讨论内容和其他设计与造价的考虑，对充填材料的特性要求有以下几项：

（1）来源广泛、成本低，有在地下工程应用过的历史；

(2) 屈服强度相对较低，能在变形状态下减少管道所承受的横向载荷，但又足以抵抗土壤的垂直压力和其他地震载荷，如地层震动（较小的）和土壤“松散”载荷或隧道上方的其他垂直载荷；

(3) “压实”之前可允许变形量达到60%，甚至更多些，即可在应力迅速增大的情况下进一步变形；

(4) 在抗老化，耐化学性和蠕动特性方面可以长期保持稳定性。

## 七、对接头的要求

如果采用适当的充填材料，并在隧道与管壁之间有足够的充填厚度，则不论连续的长管道或者分节连接的短管道均能用于地层破碎带。连续管道通过其逐渐弯曲和管道的纵向应变，可适用于地层位移地段；而分节连接的管道则依靠接头的扭转和伸长（或缩短）能力来适应地层的位移。

连续管道要比通过弹性接头连接的分节管道有较大的长度来分摊所受的横向位移量。此外，连续管道通过其纵向应变来适应纵向位移，这样就会导致产生很高的纵向应力。相反，分节连接的管道一般比较短，而且通过接头吸收地层的纵向错动力，这样，产生的纵向应力和应变就小得多。基于这种考虑，决定在穿过断层带的一段下水道采用分节的预制混凝土管，并安装扭转、伸长和压缩性能较好的管接头。设计的接头要求能符合下述条件：

(1) 它必须能适应横向地层滑移而不会错位；

(2) 它必须能承受管道端头的设计剪切力而不会破裂；

(3) 它必须能适应地层的纵向运动而不会使管道破