

湖区水工建筑物丛书

隧 洞

（第二版）

熊启钧 高昌侠 编著



水利电力出版社

灌区水工建筑物丛书

隧 洞

(第 二 版)

熊启钧 高昌侠 编著

水利电力出版社

灌区水工建筑物丛书

隧 洞

(第二版)

熊启钧 高昌侠 编著

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 12.375印张 327千字

1983年3月第一版

1989年7月第二版 1989年7月北京第三次印刷

印数10711—14590册

ISBN 7-120-00771-8/TV·249

定价: 11.80元

出版者的话

大搞灌区工程配套，是挖掘现有灌溉设施潜力，加快建设旱涝保收、高产稳产农田的一项重要措施。灌区水工建筑物，面广量大，是灌溉排水工程的重要组成部分，也是灌区配套的重要内容。各地水利部门在修建灌区水工建筑物方面积累了丰富的经验，无论在建筑物的规划布置、结构型式、建筑材料、设计理论、施工工艺等方面，都不断有所创新，并在科学研究方面取得了一批新的成果。

为了总结交流经验，反映科研成果、推广先进技术，特组织编写了这套“灌区水工建筑物丛书”。丛书包括《渠首工程》、《水闸》、《闸门与启闭机》、《渡槽》、《倒虹吸管》、《涵洞》、《隧洞》、《跌水与陡坡》、《农桥》、《地下排灌工程》等十个分册。

丛书的服务对象以中专毕业的水利技术人员为主；讨论的工程规模以县办工程为主；写法以实用为主，在扼要阐明基本原理的基础上，着重讲述工程布置、结构型式、计算公式、施工方法和常用图表，并介绍一些工程实例，便于广大读者在设计、施工中应用和参考。

参加这套丛书编写工作的有：江苏、安徽、山东、广东、广西、湖南、河南、陕西、黑龙江等省（区）的水利厅（局），水利勘测设计、科研部门和有关水利院校。

为了提高书稿质量，请武汉水利电力学院农田水利工程系负责丛书的归口工作。该系陈德亮、赵文华等同志在审定书稿、统一编写深度和广度方面，做了大量的工作。

《隧洞》分册是由河南省水利勘测设计院熊启钧同志和河南省陆浑灌区洛阳地区工程指挥部高昌侠同志执笔编写的，其中，熊启钧编写了第二章～第四章及第一章中的第二节，高昌侠编写了其余的章节并承担全书的统稿任务。

初稿完成后，送请四川、陕西等省水利勘测设计院，华东水利学院、合肥工业大学水利系，山东昌潍、河南安阳等专、县水利局共二十多个单位审阅，各单位提出了许多宝贵意见和建议。特别是水利电力部北京勘测设计院刘瑛珍同志、陕西省水电局设计院周子慎同志和武汉水利电力学院水工、施工教研室的同志们全面审稿，对提高书稿质量帮助很大。

“灌区水工建筑物丛书”中的《水闸》、《地下排灌工程》、《农桥》、《闸门与启闭机》、《跌水与陡坡》五个分册已经先后出版了，其余各分册将根据编写进度陆续出版。为了搞好这套丛书的出版工作，使它更好地为广大读者服务，热忱希望同志们随时将有关意见和要求告诉我们。

1982年4月

第 二 版 前 言

“灌区水工建筑物丛书”自1980年陆续出版以来，受到了广大读者的欢迎。^①大家反映，这套丛书内容比较全面、实用，既有较为系统扼要的理论分析，又有工程实例作为参考，很适合地、县水利工程技术人员的学习使用。根据读者的要求，同时考虑到近几年来这方面科学技术的不断发展，我们决定对这套丛书进行修订，以便更好地满足地、县广大水利工程技术人员需要。

丛书的这次修订是按下述原则进行的：重点介绍常用的理论和方法，注意反映国内外的先进技术，认真总结近几年经过实践证明，技术上先进、经济上合理、运用时安全可靠的先进经验，删去陈旧过时和实用价值不大的内容；在扼要阐明基本原理的基础上，着重讲述工程布置、结构型式、构造、计算公式的应用、施工要点及管理注意事项，并编写一些实例，供广大读者应用参考。为了节省设计中繁琐的计算工作，有些分册将适当地编入实用性强的电算程序。

参加这套丛书修订编写工作的单位有：江苏、安徽、广西、湖南、河南、陕西、黑龙江等省（区）的水利厅（局），勘测设计、科研部门以及有关的水利院校。为保证书稿质量、统一写作风格、提高工作效率，每本书的编写人不宜过多。因此，第二版的某些分册将减少或调整了部分参编人员。

为了进一步提高第二版的质量，决定成立“丛书编审组”，负责组织全套书的审稿和归口工作。

本分册《隧洞》第二版由河南省水利厅高昌侠、河南省水利勘测设计院熊启钧编写。

修订稿经陈德亮审阅，并提出了修改补充意见，对提高书稿质量帮助很大。

修改后的“灌区水工建筑物丛书”（第二版）中的《地下排灌工程》、《闸门与启闭机》、《跌水与陡坡》、《水闸》、《农

桥》、《渡槽》分册已于1988年出版，其它各分册将陆续出版。为了搞好这套丛书的再版工作，使它更好地为广大读者服务，诚恳希望读者对书中错漏之处，及时提出批评指正。

灌区水工建筑物丛书编审组

组长 陈德亮

成员 李崇智

张世儒

赵文华

王浩昭

1988年3月

目 录

出版者的话

第二版前言

第一章	灌区无压隧洞的选线与工程布置	1
第一节	隧洞工程的选线	2
第二节	工程布置	11
第二章	无压隧洞的水力计算	27
第一节	过水断面及水面衔接计算	27
第二节	算例	36
第三章	设计荷载	41
第一节	无压隧洞设计荷载的选择	41
第二节	山岩压力	42
第三节	岩石弹性抗力	54
第四章	无压隧洞的衬砌计算	60
第一节	基本计算公式	61
第二节	力法计算蛋形衬砌断面(考虑岩石弹性抗力作用)	66
第三节	力法计算蛋形衬砌断面(不考虑岩石弹性抗力作用)	94
第四节	推压力线法(图解法)计算蛋形衬砌断面	108
第五节	查表法计算圆拱直墙式衬砌断面(考虑岩石弹性抗力作用)	120
第六节	查表法计算圆拱直墙式衬砌断面(不考虑岩石弹性抗力作用)	139
第七节	马蹄形衬砌断面计算	147
第五章	用PC-1500机计算无压隧洞	162
第一节	圆拱直墙式衬砌断面电算程序	163
第二节	马蹄形衬砌断面电算程序	177
第三节	蛋形衬砌断面电算程序	190
第六章	隧洞的施工方法	198
第一节	各种施工方法的要点和实施步骤	198

第二节	不良地质条件隧洞的施工	208
第七章	隧洞开挖及出渣	211
第一节	凿岩爆破参数	211
第二节	导坑开挖	215
第三节	先拱后墙法施工的扩大开挖	227
第四节	先墙后拱法施工的扩大开挖	232
第五节	光面爆破及预裂爆破	234
第六节	隧洞出渣	240
第八章	隧洞支撑及塌方的防治	243
第一节	木支撑	244
第二节	金属支撑	252
第三节	洞口段的开挖与支撑	256
第四节	隧洞塌方的防治	257
第九章	隧洞衬砌施工	266
第一节	现浇整体式混凝土衬砌	266
第二节	浆砌块石衬砌	282
第三节	预制混凝土构件装配式衬砌	285
第十章	辅助坑道	291
第一节	横洞	291
第二节	平行导坑	292
第三节	斜井	294
第四节	竖井	300
第十一章	隧洞施工的辅助作业	313
第一节	压风	313
第二节	供水	319
第三节	施工供电与照明	321
第四节	通风	324
第五节	排水	328
第十二章	隧洞测量	330
第一节	施工前的控制测量	330
第二节	洞内施工测量	331
第三节	隧洞断面放样	339

第十三章 喷锚衬砌	342
第一节 喷锚衬砌的结构布置	342
第二节 喷锚衬砌的施工	352
第三节 喷锚衬砌工程实例	366
附录 灌区无压隧洞统计表	376
参考资料	384

第一章 灌区无压隧洞的选线与工程布置

在丘陵山区修建灌溉工程时，经常采用隧洞使渠道通过山岭或高地。有些灌区，干渠上的隧洞长度竟占干渠总长度的40%以上；隧洞工程的投资在灌区建设的总投资中所占的比重也很大，任务十分艰巨。由于隧洞工程的任务大、工序多、技术比较复杂，而且工作面有限，施工困难；因此，在某些灌区的建设过程中，它往往成为控制性的工程，对能否顺利的完成建设任务、及时发挥效益，影响很大。因而，认真搞好隧洞的选线和工程布置，有着重要的意义。

随着灌区建设的发展，我国各地修建了大量的隧洞工程，在设计和施工方面积累了不少经验，专业施工队伍和群众的技术水平有很大提高。陕西省冯家山灌区总干渠二号隧洞，长12600m，输水流量 $36\text{m}^3/\text{s}$ ；河南省陆浑灌区总干渠前富山隧洞长2158m，输水流量 $64\text{m}^3/\text{s}$ ，这些隧洞工程的规模都是比较大的。湖南省韶山灌区创新关隧洞、山东省尹府水库灌区石柱洼隧洞等，采用了蛋形断面、预制装配式混凝土衬砌，取得了较好的经济效益。近几年来，引滦入津、入唐的隧洞工程，采用了喷锚支护技术，为更好的建设灌区隧洞工程，找到了一条新的途径；安徽省青弋江东干渠古楼铺隧洞，在地下水涌水量较大的软弱围岩（粘土夹砾石层或土砂夹砾石层）中，采用了喷锚支护技术，取得了较好的成效，可因地制宜，积极推广。

灌溉渠系中的输水隧洞，从其布置和使用情况看，多为进出口均不淹没的明流隧洞。因而，本书中介绍的隧洞选线和工程布置以及隧洞的设计和施工，都是遵照水利电力部一九八五年颁布的《水工隧洞设计规范》（以下简称《规范》），按无压明流隧洞考虑的。

第一节 隧洞工程的选线

隧洞工程的选线，应综合考虑灌区整体规划、地形、地质、水力、施工及运用等各种因素，在广泛征求建设、施工、管理单位和当地群众意见的基础上，经过必要的技术经济比较，最后定出合理的实施方案。

影响隧洞工程选线的主要因素是地质、地形条件，现分述如下。

一、地质条件

隧洞是在地层内开凿而成的结构物。其周围地层的地质条件对隧洞的位置、构造、施工方法、工期、造价及管理养护等有着决定性的影响。因此，在选定隧洞时，必须先进行地质勘测，查明隧洞通过地区的岩层性质和构造、水文地质情况和不良地质现象，以及进出口、洞脸边坡的稳定性等，作为确定工程方案的重要依据。

(一) 地质构造与隧洞洞线的选择

1. 单斜构造对隧洞洞线的影响

(1) 水平或缓倾斜岩层(岩层倾角 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$)：如岩层厚而坚硬，在开挖后，围岩的稳定性较好。若岩层薄而又破碎，施工时拱部易塌落；当有地下水活动时，会出现较大的塌方。因此，最好能选择到比较坚硬而又不透水的岩层作为顶拱(图1-1)。否则，在施工中要加强支撑，特别注意安全。

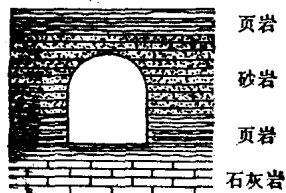


图 1-1 隧洞在水平或缓倾斜岩层中的位置图

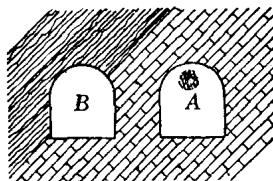


图 1-2 隧洞在陡倾岩层中与走向平行时的位置图

(2) 陡倾岩层 (岩层倾角 $21^{\circ}\sim 70^{\circ}$)：陡倾岩层容易产生顺层滑动、偏压和不均匀的山岩压力。当隧洞轴线与岩层走向平行时是不利的，这时应尽量把隧洞的位置选在单一的岩层里，避免设在软硬不同岩层的接触部位。如图1-2中，A位较B位为好。当隧洞走向垂直于 (或交角较大) 岩层走向时，较前一情况有利，如图1-3。但在施工时仍应防止坍塌，洞口附近更应特别注意。



图 1-3 隧洞在陡倾岩层中与走向垂直时的位置图

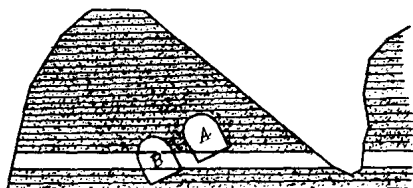


图 1-4 软弱面导致隧洞破坏的位置图

(3) 直立岩层 (岩层倾角 $71^{\circ}\sim 90^{\circ}$)：隧洞遇直立岩层时，宜垂直于岩层的走向穿过，或与岩层走向有较大的交角。当隧洞轴线与岩层走向平行时，应避开不同岩层的接触带。如岩层较薄且有软弱夹层时，在有地下水活动的情况下，洞顶易坍塌。

(4) 软弱面：对于不同岩层的接触带或同类岩层的断裂构造，当岩层的倾斜方向为沟壑切割而处于临空状态且有地下水活动时，山体易滑动，形成较大规模的滑坡，可能导致位于滑体内的隧洞工程严重破坏。其破坏形式大致有三种：软弱面位于隧洞基底以下，可使隧洞整体位移而破坏，如图1-4中的A洞；软弱面位于隧洞中部，由于山体滑动时产生的推力很大，会使隧洞的边墙和拱部全部破坏，如图1-4中的B洞；软弱面位于隧洞顶部，或位于隧洞上方距顶部厚度较小时，山体滑动，可能造成洞顶开裂破坏。

2. 褶曲构造对隧洞的影响 隧洞在岩层的褶曲构造中穿过时 (图1-5)，背斜较向斜有利。根据裂隙特征，背斜形成的开口，

上大下小，为正拱形结构；向斜形成的开口，上小下大，系反拱形结构。且在向斜构造中，地下水较发育，施工中易塌方。因此，在选定隧洞轴线时，不应平行于褶曲构造的走向通过，特别是要尽量避开向斜构造。如无法避开时，应使隧洞轴线与褶曲构造的交角大于 30° 。

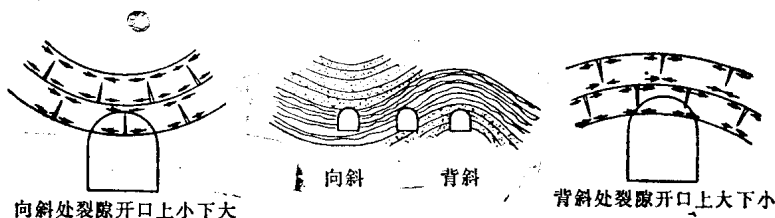


图 1-5 隧洞在褶曲构造中的位置图

3. 断裂构造对隧洞的影响 在岩层的断裂带中，由于构造运动，岩体被挤压错动，致使裂隙发育，岩体破碎成块状、颗粒状及断层泥状，其强度低，围岩压力大。同时在断裂带中，常有地下水活动，往往会突然涌水，极易形成塌方。隧洞轴线宜避开断裂构造，特别是区域性大断裂更应设法避开。当无法避开时，洞线与岩层、构造断裂面及主要软弱带应尽量具有较大的夹角。在整体块状结构的岩体中，其夹角一般不宜小于 30° 。在层状岩体中，特别是层间结合疏松的高倾角薄岩层，其夹角一般不宜小于 45° 。

(二) 不良地质条件地区隧洞轴线的选择

1. 软弱地层 在浅山丘陵区，第四纪地层分布很广，如粘土、砂壤土、无胶结的砾石、砂卵石层等，施工中易坍塌。在有地下水活动的情况下坍塌更为严重。在选定洞线时，要认真考虑，慎重对待，尽量设法避开。如无法避开时，应采用相应的工程技术措施。

2. 滑坡地区 山坡地段由于地下水活动、河流冲刷、人工切坡及地震等因素的影响，大量岩体在重力作用下沿着软弱面整体向下滑动，这种不良地质现象称为滑坡。在滑动面以上的地下及

地上建筑物都会遭到破坏。选定隧洞轴线时，一定要避开大滑坡地段，或者将隧洞放在滑动面以下的稳定岩层里。

3. 崩塌 崩塌是指体积很大的岩块从山顶沿陡峻的山坡向下倾倒、崩落、滚翻，以及由此而引起的岩石变形现象。它的破坏活动是急剧而猛烈的。对盘山渠道及建筑物是个严重的威胁。隧洞进出口应注意避开坍塌地段。

4. 泥石流 泥石流是一种持续时间不长、突然发生的夹有大量泥沙石块的特殊水流。严重的泥石流会冲毁村镇和各种建筑物。隧洞选线要避开泥石流地区或将隧洞设在泥石流下切面以下的基岩内。隧洞的进出口也要放在泥石流范围以外。

5. 溶洞（岩溶） 溶洞多出现在石灰岩地区。大的溶洞会给隧洞工程造成很大困难。尤其是当隧洞通过暗河（地下水位以下的溶洞）时，更难处理。因此，隧洞选线应尽量避免岩溶发育地区。当无法避开时，隧洞轴线应尽量以大角度与岩溶地区相交通过。

（三）影响隧洞选线的其他地质因素

1. 地下水 隧洞围岩中的地下水，会给隧洞工程造成很大困难。是影响工程进展的重要因素。尤其是在软弱岩层如壤土、砂砾石中，由于地下水的作用，在施工中很易形成塌方，需要消耗大量的支撑材料，而且工程进度慢、不安全，排水、通风的费用也会大大增加。

隧洞施工中常见的地下水有三种：

（1）潜水：土层中的孔隙水，其补给来源是大气降水和地表水。

（2）裂隙水：在岩石裂隙中的地下水，其补给来源视裂隙间沟通的情况而定。一般没有充足的补给来源。但当裂隙位于含水层或地表河流水位以下，且与他们沟通时，往往会形成较大的涌水量。

（3）溶洞水：补给来源一般是大气降水和地表水，储存集中，往往会突然涌水，给施工带来困难。

在选定隧洞位置时，应详细了解地下水的性质、水量大小及补给来源，尽量避开涌水量大的地段，在少水或隔水的地层中通过。

2.含瓦斯地层 瓦斯是地下坑道有害气体的总称，主要是甲烷（ CH_4 ）。当隧洞通过煤层时，会遇到瓦斯地层。洞内空气中的甲烷含量超过5%时，就会发生爆炸，甲烷含量为9.5%时，会发生强烈爆炸。因此，隧洞选线应避免含瓦斯地层。当无法避开时，应以大交角横穿含瓦斯地层的最窄狭处。在施工中，要按照煤矿的安全规程及相应的技术措施，搞好通风，防止瓦斯含量超过规定标准而引起燃烧或爆炸事故。

3.含盐地层 含盐地层包括盐岩、盐渍土、石膏及芒硝等可溶盐地层。由于硫酸盐渍土具有松涨和膨胀性，会产生很大的膨胀压力；因此，隧洞选线时应尽量避免在含盐地层中通过。

4.地震 由于地震的破坏性自地表向地下迅速减弱，因此，一般对深埋隧洞的影响较小。但对于浅埋隧洞、偏压隧洞、明洞及洞门的影响较大。尤其是在岩层松散、滑坡、陡崖、断层等地段，在强烈地震影响下，会导致山体变形，使建筑在其中的隧洞工程遭到破坏。在地震烈度大于七度的地区选定隧洞时，应避开对抗震不利的地形、地质区段，并采取必要的防震及抗震措施，避免或减少地震对隧洞的破坏。

5.地温 随着埋藏深度的增加，隧洞在未凿通前，温度会相应升高。高温对劳动生产率影响很大。要采取通风或冷却措施，保证工人的正常劳动条件。

在实际工程中，隧洞工程所遇到的地质条件往往是错综复杂的。断层与褶曲同在，潜水与滑坡共存的现象是常见的。因此，对于复杂的地质条件，应运用必要的勘测手段，深入调查研究，摸清情况，分清主次，根据灌区总体布置的要求，进行全面的分析比较，确定隧洞的轴线位置。在设计阶段初期，可根据地质资料，参照《规范》附录围岩分类表，对围岩的稳定性作出评价，提供设计所需参数。随着勘测阶段的升级，地质勘探工作的加

深,对围岩分类应及时补充和修正。开工后,设计人员应及时掌握隧洞各段的实际地质情况,及时观测、校正、补充地质资料,以便核对和修改设计,并为施工安全进行地质预报。对地质情况特别复杂的地段,可视需要在施工中用导洞、超前钻等手段,探实情况,修改设计。

二、地形条件

隧洞工程的选线,常受地形条件限制和影响,根据不同情况,大致可分为河谷线傍山隧洞和穿岭隧洞两大类。

1.河谷线傍山隧洞 在深山区,干渠多沿河谷傍山开凿。由于受地形条件限制,渠线在前进方向上左右摆动的幅度不大,隧洞位置的选择范围比较狭窄,工程较集中,往往出现傍山浅埋隧洞和隧洞群。河谷地段地势陡峻,山坡洪水的冲刷影响大,不良地质条件的地段较多,且岩石风化破碎,容易形成滑坡或崩塌,对渠道的管理使用十分不利。因此,在选定隧洞轴线时,宜尽量裁弯取直,适当里靠,以较长的整段隧洞代替隧洞群和蜿蜒曲折的傍山渠道。图1-6为河南省济源县引沁灌区以长隧洞方案取代隧洞群及傍山渠道的示意图。

河谷线傍山隧洞的位置,还应考虑其埋置深度,适当安排。如洞线很靠外,则洞顶覆盖太薄,山体受外界影响易变形,引起偏压,危及洞身安全。若洞线太靠里,则需增加隧洞长度和工程投资。因此,河谷线傍山隧洞的位置,要按照地形、地质条件及隧洞外侧的

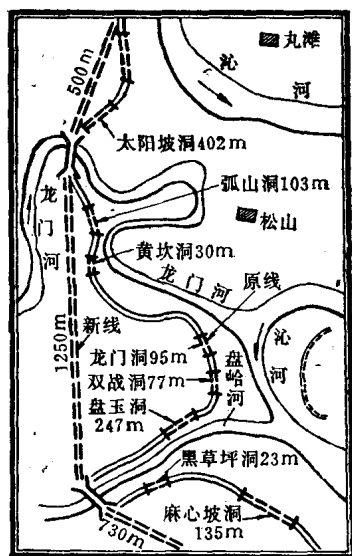


图 1-6 长隧洞代替隧洞群及傍山渠道示意图