

水下公路隧道

董国贤 编著

人民交通出版社

尽统一（个别术语特意保留原术语名称，以便查找原资料），缺点和错漏之处，在所难免，敬希读者批评指正。

作者

1983.11.

内 容 提 要

本书系统地介绍水下公路隧道工程的设计和施工，包括隧道的勘察选线、衬砌计算、防水通风、给排水以及隧道施工等方面的问题。理论联系实际，图文并茂，易于理解，附有较多的实测数据，可供水下隧道、水下工程结构物和山岭隧道科研、设计、施工技术人员和高等院校有关专业师生参考。

水下公路隧道

董国贤 编著

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张：14.625 字数：370千

1984年12月 第1版

1984年12月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,920册 定价：3.85元

前 言

水下公路隧道是一种非常复杂的工程结构物，需要综合性的科学知识，涉及的专业面也广，在具体工程的设计和施工中，如果哪一项考虑不周或处理不当，就会出现这样或那样、甚至无法补救的工程质量问题。作者在从事水下公路隧道设计的长期实践中，遇到过各种各样的实际问题，在处理中有成功的经验，也有失败的教训。为了总结经验，扬长避短，现将本人在具体工程实践中遇到的一些问题和在国内外参观考察中搜集到的有关资料加以整理，编写成这部《水下公路隧道》。

本书比较系统地介绍水下公路隧道工程在勘察、选线、总体布置、衬砌计算、隧道防水、通风、照明、给排水及隧道施工等方面的问题，着重阐述在岩石河床地层中修建水下公路隧道的工程措施。书中列举的资料，一部分取材于国内水下隧道和地下工程的技术总结，一部分取材于国外运河水下隧道的技术资料。至于有关实测数据，只能表征特定条件下的局部经验，不能作为普遍采用的依据，要根据具体工程的实际情况进行可行性研究和对比分析，灵活运用。

书内部分资料是一些单位和有关同志慷慨提供的。本书于1979年底完成初稿，为了汰芜存青，集思广益，于1981年初送请有关同志审阅，1983年定稿后，又经过邢念信工程师、黄丽娟工程师、张涌泉工程师、王宏元工程师等对有关章节进行了认真审查。对提出的许多宝贵意见，作者已作了修改补充。对上述同志，作者在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，加之编写工作是在工余进行的，时间仓促，对某些资料的分析研究可能还不够完善，某些技术术语也不

目 录

绪 论	1
第一章 水下公路隧道地质勘探与隧道选址	3
第一节 工程地质勘探的任务	3
一、地质勘探的目的和要求	3
二、地质勘探程序	3
三、各阶段的地质工作	4
第二节 隧道定点、定位勘察	7
一、隧道选址所考虑的因素	7
二、区域地质勘察	9
三、隧道轴线位置地质勘探	9
四、隧道定位	12
第三节 水文地质勘探与涌水量预测	13
一、水文地质勘探	13
二、隧道内涌水量预测	14
第四节 地质评价	22
一、区域稳定	22
二、山体稳定	23
三、围岩稳定	25
第二章 隧道测量	29
第一节 地面定线测量	29
一、隧道轴线平面控制测量	29
二、高程控制测量	31
第二节 施工测量	31
一、弯道部分的测量	31

二、通风斜井的测量	32
三、水下隧道各部贯通精度要求	32
第三章 水文调查与计算	33
第一节 水文工作的特点	33
一、水文工作特点	33
二、水文调查应考虑的几个问题	34
第二节 水文计算	35
一、测量河床断面及比降	37
二、洪峰流量的测定	37
三、绘制隧道轴线处江河水位-流量、 水位-面积和水位-流速关系曲线图	37
四、设计水位的确定	40
五、流速的确定	40
六、河底段水头高度的计算	42
七、支沟水文计算简介	42
八、浪高的调查与计算	43
第三节 安全高度的选定及隧道洞口标高要求值	43
一、安全高度的选定	43
二、隧道主洞口设计标高的要求值	43
三、安全措施	44
第四章 隧道建筑设计	45
第一节 隧道总体设计	45
一、总体平面布置	45
二、水下隧道组成及房间配置	46
第二节 平剖面设计	50
一、隧道轴线形式	50
二、平剖面设计的三个问题	51
三、平、竖曲线设计	54
四、通风机房平面布置	55
五、隧道口部平面布置应考虑的问题	56

第三节	横断面设计	56
一、	断面型式	56
二、	隧道幅员	60
三、	横断面内的其他设施	62
第五章	隧道工程结构设计与计算	65
第一节	围岩分类	65
一、	围岩分类法浅介	66
二、	日本围岩分类法	78
三、	地下水对围岩分类的影响	81
四、	围岩分类的主要工程地质特征	85
五、	围岩分类现状及发展趋势	87
第二节	围岩压力	89
一、	普氏地压理论在水下隧道中的应用	89
二、	《水工隧洞设计暂行规范》推荐的 围岩压力计算方法	90
三、	太沙基围岩压力理论	93
四、	对上述围岩压力计算的初步探讨	98
第三节	外水压力	101
一、	岩层自然渗水压力的测定	102
二、	注浆对渗水压力的影响	106
三、	作用在水下隧道衬砌上外水压力的测定	109
四、	初步结论	113
五、	水下隧道衬砌外水压力的计算	114
第四节	圆形衬砌结构计算	114
一、	水下隧道衬砌设计应考虑的几个问题	114
二、	圆形衬砌设计	121
第五节	定型衬砌计算	136
一、	定型衬砌计算通式	138
二、	定型衬砌计算例题	147
三、	混凝土整体式衬砌在应用中有关问题的探讨	160

第六节	喷锚支护	170
一、	喷锚结构的工作原理简介	173
二、	喷锚结构的初步计算	175
三、	喷锚支护在水下隧道中的应用	183
四、	喷锚支护在应用中的问题	185
第七节	水下隧道双层衬砌	188
一、	喷锚支护 + 柔性防水层 + 整体式混凝土 (或钢筋混凝土) 衬砌	192
二、	钢支撑 + 钢筋混凝土整体衬砌 + 钢板防水层 + 拼装 式内衬	194
三、	装配式衬砌 + 柔性防水层 + 整体式钢筋混凝土 衬砌	194
第八节	离壁式衬套	195
一、	国外地下工程中轻型衬套概况	196
二、	国内地下工程中轻型衬套概况	197
三、	轻型衬套设计中应考虑的几个问题	198
四、	离壁式衬套设计计算简介	199
五、	衬套结构计算实例	202
六、	不考虑水平支撑端侧移时的衬套计算	207
第六章	隧道防水	209
第一节	概述	209
一、	防水的必要性	209
二、	防水原则	210
三、	防水措施的选定	210
四、	防水效果	211
第二节	防水措施	212
一、	防水混凝土	212
二、	回填注浆和固结注浆	214
三、	用高分子化学浆液处理渗漏水	216
四、	关于外排水问题	224

五、伸缩缝防水处理	224
六、施工缝防水处理	233
七、混凝土衬砌裂缝防水处理	237
八、环煤材料的配制及其物理-力学性能	237
第三节 防水与加固围岩	243
一、围岩加固的意义	244
二、围岩注浆的作用	244
三、围岩注浆的范围	245
四、注浆压力	245
五、注浆材料	246
六、注浆孔间距及深度	247
七、注浆加固围岩的效果	248
第七章 隧道通风	255
第一节 隧道通风方式	255
一、自然通风	255
二、机械通风	255
第二节 通风量的计算	262
一、按CO产生量计算隧道通风量	263
二、按烟雾透过率计算通过柴油（履带） 车辆的数量	266
三、换气次数	273
四、水下隧道通风量计算举例	275
五、体会和建议	279
第三节 战时交通量的计算及通风措施	279
一、通过柴油车辆数量的计算	280
二、通过履带车辆数量的计算	283
三、战时应急通风措施	283
第四节 通风管道	285
一、长管道多风口等量送风计算	285
二、等截面长风道均匀排风计算	292

三、风道摩擦阻力系数 λ 的确定	303
第五节 风机选择与风机房位置及其它	313
一、水下隧道通风机	313
二、通风机房位置及调节风量方式	318
三、通风监察和送、排风的控制	320
第六节 通风井的位置选择	322
一、防止污染	322
二、对竖井的要求	322
第七节 隧道噪音、火灾和烟雾性态	322
一、隧道噪音问题	322
二、隧道内火灾和烟雾性态	323
第八章 隧道给排水	327
第一节 给水	327
一、给水系统	327
二、水源	328
三、给水泵站	328
第二节 排水	329
一、排水系统	329
二、排水泵的选择	330
三、排水泵房	332
四、排水干管直径的选择	332
第九章 隧道供电与照明	333
第一节 隧道供电	333
一、水下隧道供电	333
二、某运河水下隧道供电方式简介	336
第二节 隧道照明	340
一、水下隧道照明	340
二、勃朗峰公路隧道照明设备的改进	346
三、某运河水下公路隧道照明	349
第三节 隧道营运管理控制	356

第十章 水下公路隧道施工	360
第一节 水下公路隧道施工的特点及采用的主要技术措施	360
一、施工特点.....	360
二、水下隧道施工的主要技术措施.....	361
第二节 克服江河障碍及施工中的防洪工作	381
一、施工中克服江河障碍的措施.....	381
二、施工中的防洪工作.....	383
第三节 探水注浆	383
一、注浆材料.....	384
二、浆液的配制.....	385
三、注浆堵水加固围岩原理.....	387
四、探水注浆主要设备.....	387
五、注浆系统.....	388
第四节 河底段导洞掘进前的探水注浆	389
一、探水注浆段长度及注浆孔的布置.....	389
二、注浆有效范围的确定.....	394
三、探水注浆孔的钻进.....	397
四、注浆工艺.....	398
五、注浆堵水效果.....	401
六、作业组织.....	403
第五节 扩挖、衬砌前的注浆堵水	403
一、扩挖前探水检查注浆.....	403
二、墙拱衬砌灌注混凝土前的注浆堵水.....	404
三、底拱开挖前探水检查与注浆.....	405
四、地面帷幕注浆.....	405
第六节 隧道开挖	406
一、河岸段（引道段）开挖.....	406
二、河底段开挖.....	408
第七节 衬砌作业有关问题	417

一、“反缝”的处理及衬砌段长度的确定·····	417
二、特细砂防水混凝土的应用·····	419
三、特细砂防水混凝土衬砌裂缝调查·····	422
第八节 通过断层破碎带的施工措施·····	424
一、处理断层破碎带应以预防为主·····	424
二、注浆加固围岩·····	426
三、开挖断层破碎带的支撑法·····	426
四、加强量测管理工作·····	429
附录 I ·····	432
附录 II ·····	435
附录 III ·····	437
参考文献·····	454

绪 论

我们的祖国，地大物博，河流纵横，沿海岛屿五千余个。交通运输要克服江、河、湖、海障碍，除飞机和管道外，主要靠船舶、桥梁和水下隧道。以往我们大多以修筑桥梁为主，而水下隧道多不被人们所重视，就是跨越山岭的道路往往也是在地面上绕行几公里或几十公里而避免修筑公路隧道。横跨长江、黄河，也宁愿修建大桥而不修水下隧道。这种历史上遗留下来的偏见，现在有商榷的必要。

当然，桥梁和隧道相比，有其优点，也有其缺点。从某种意义上讲，桥梁造价较低且易于修建；但若选择石质好的地段修建水下公路隧道，其每米的造价也大致与每米桥梁的造价相当，甚至低于桥梁。如横跨英法海峡水下隧道的方案，无论采用掘进式或沉埋式隧道，造价均只有桥梁造价之半。因此，在主要的交通枢纽和江、河、湖、海地区，凡有条件时均应进行桥梁和隧道方案对比。

不仅如此，水下隧道所具备的下述优点往往是桥梁所望尘莫及的。

一、重要交通枢纽的水下铁路隧道和水下公路隧道在战时所起的作用和桥梁相比就大不一样，从现代化战争情况看，水面桥梁易遭破坏，但要破坏水下隧道就不容易。一座水下公路隧道在战时保证大江南北、大河上下的交通运输上比一千条船所起的作用还要大。所以，水下隧道不论在平时或战争时期基本上可以做到畅通无阻。

二、水下隧道抗拒自然灾害的能力特强。地面桥梁遇到台风、地震及特大洪水等自然灾害时易被破坏，而水下隧道工程

（包括地下建筑物）一般完好无损。如唐山强烈地震时，地面上的桥梁完全遭到破坏，而浅埋地下二米深的人防地道却完好无损。

三、在航运比较频繁的江河上，修建桥梁总是对航运有不同程度的影响，而水下隧道则对大小船舶的航行无任何影响。

四、暴雨、洪峰甚至海啸对桥梁的安全有一定的威胁，而水下隧道则不受影响。

综上所述，水下隧道的优点比较突出，但是，若隧道选址不当，带来的后患也是无穷的。因此要认真对待，用严谨的科学态度，加强调查研究，掌握水文地质资料，充分利用有利条件，克服不利因素，踏踏实实地做好水下隧道的建设工作。

第一章 水下公路隧道地质 勘探与隧道选址

第一节 工程地质勘探的任务

一、地质勘探的目的和要求

水下公路隧道工程选址是一个比较复杂的问题，它既要考虑岩石和土质条件，又要从区域环境、水文地质、交通运输、建设投资等出发，进行多方面的综合分析。如果工程选址不当，一个工程可能花费两个工程的造价，造成不必要的浪费。因此，在选址问题上，必须通过多种手段，如卫星遥感技术、航空磁力勘探、复合光谱、红外线勘探以及地质钻探等来进行勘探调查工作，以达到下面的目的：

1. 为水下隧道选出一个最佳的轴线位置；
2. 根据岩层地质情况确定合适的隧道埋深；
3. 提供岩、土各种物理力学指标和预测出不良的地质地段，如大的断层破碎带或破裂带及不整合的接触带等；
4. 提出有关地下水资料，如地下水位及渗透系数等；
5. 预测地层需要加固的部位和修建隧道可能的渗水量；
6. 根据提供的地质资料估计水下隧道造价。

二、地质勘探程序

水下隧道地质勘探一般分为三步：第一步，进行区域性地质普查；第二步，选轴线勘探；第三步，定点详细钻探。

地质勘察工作程序如下：

1. 制定地质勘探基本技术要求，搜集拟建水下隧道地区的有

关地质资料。

2.根据卫星照片、大区域地质图或区域地质图以及地形图等有关资料进行图上作业。

3.进行现场地质踏勘和地面工程地质测绘。

4.有条件时,进行必要的航测,如多极光谱摄影、红外线以及借助卫星照片进行地质解释,结合物探工作进行勘探。

5.进行工程地质勘探、地球物理勘探和水文地质钻探以及抽水试验。

6.在实地勘探的基础上进行洞探或试掘导洞等工作,以期彻底了解隧道所在位置的地质情况。

7.最后提出地质勘察报告。

三、各阶段的地质工作

(一)选点勘察中的地质工作

选点勘察中的地质工作,一是勘察前的资料收集,二是现场地质踏勘。资料收集主要是向有关部门收集预定工程区域范围内已有的地形、地质、水文、气象、地震、水利以及交通等资料,供图上作业和现场踏勘使用。地形资料要有1/50,000及1/100,000的地形图。地质资料除收集区域性地质资料外,要注意收集有关坝址、桥(隧)址等大型建筑物的勘探资料和河床断面资料,从中了解河床覆盖层厚度和河床地质的一般情况。水文资料主要是收集常水位、洪水位、水面宽、水深、流量以及历代河流变迁情况等。水利资料除收集已有水库、水电站等资料外,还要收集水利方面近期建设计划和远景规划中的拟建工程的资料,不得将水下隧道修建在水库区内。交通资料要收集已有公路、铁路、大车路及拟建公路、铁路资料,特别是附近公路、铁路、隧道地质资料。一定要做到修建水下隧道不和水利建设、交通设施以及国民经济建设产生矛盾,以免带来不利影响。

现场踏勘除实地收集上述资料外,还要向有关部门和群众调查了解所需资料。

在现场踏勘过程中，对拟选的地点，除进行必要的线路踏勘外，有条件时尽可能利用卫星照片或航测的河床、两岸地形断面以及有关地质资料。

(二) 定位勘察中的地质勘探工作

定位勘察中的地质勘测任务是，在既定的隧道地点，对预选的几个不同轴线位置，通过地面地质测绘、勘探和试验工作，具体收集工程地质和水文地质资料，以便对比分析，选定隧道洞口和轴线位置。隧道位置确定后，再在既定的轴线部位进行详细勘测，进一步收集设计、施工所必需的地质和水文地质资料。

勘测方法：河岸段以地面地质测绘为主，辅以必要的钻探。河底段先用物探，后用钻探，弥补或验证物探的不足，进行必要的物理-力学试验工作。

地面地质测绘需进行较大面积的小比例尺区测和较小面积的大比例尺详测。长、大水下隧道一般应在预选轴线的上、下游各长5公里、宽3~5公里的范围内进行，比例尺为1/50,000；详测在建设区（含施工场地布置区）轴线上、下游各1~2公里、宽1~3公里范围内进行，比例尺为1/5,000。

地质钻探分两步进行。第一步对预选各轴线河床段，在物探基础上，进行控制性钻探，以求基本摸清各轴线位置的地质，择优选取隧道轴线位置。第二步对选定轴线的河底段进行技术钻探，以期取得详细的工程地质、水文地质资料。钻孔位置在河底段应沿隧道轴线两侧，距轴线一般为30~50米，孔距一般为100~150米，成梅花状布置；地质构造简单时钻孔可稀疏些，地质构造复杂时可适当增密，孔深应至预选隧道底板下20~30米。

试验工作应包括岩（土）颗粒分析及岩（土）物理-力学性能的测定，钻孔分层抽水试验，地下水流向的测定，地表水与地下水的动态观测以及水质分析等。

找准河床的深槽位置及历年洪水对河床的冲刷资料是必不可少的。

(三) 施工过程中的地质勘测工作