

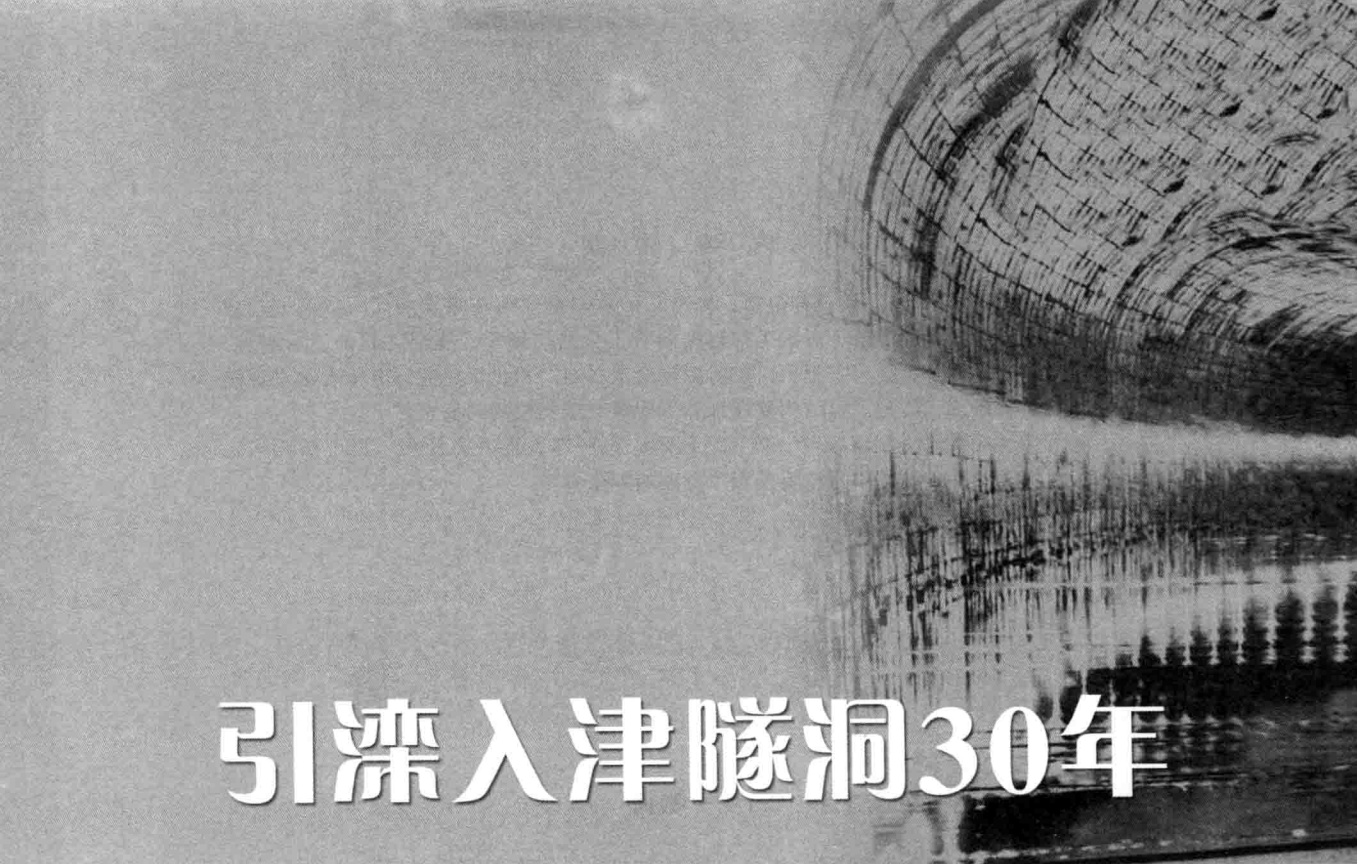
引滦入津隧洞30年

安全鉴定与评估

骆学军 汤雷 付国群 方志国 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



引滦入津隧洞30年

安全鉴定与评估

骆学军 汤雷 付国群 方志国 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

全书分为 11 章, 其主要内容包括: 概论、历次安全评估与除险加固、隧洞工程质量评价、隧洞运行管理评价、隧洞工程衬砌混凝土检测与评价、隧洞工程地下水影响、隧洞工程围岩稳定性、隧洞工程出口段衬砌混凝土骨料“粉化”研究、上覆堆载对隧洞工程影响安全评价、隧洞工程结构复核计算、附属建筑物检测与安全评价。

本书可供从事水工隧洞设计、施工、监理、科研与管理人员使用, 也可供调水工程、基本建设的科技人员和高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

引滦入津隧洞30年安全鉴定与评估 / 骆学军等编著

— 北京: 中国水利水电出版社, 2013. 12

ISBN 978-7-5170-1653-3

I. ①引… II. ①骆… III. ①滦河—跨流域引水—水工隧洞—安全鉴定 ①天津市②水滦河—跨流域引水—水工隧洞—安全评价—天津市 IV. ①TV672

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第321902号

书 名	引滦入津隧洞 30 年安全鉴定与评估
作 者	骆学军 汤 雷 付国群 方志国 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 15.25 印张 362 千字
版 次	2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷
定 价	40.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

编写人员名单

主 编 骆学军 汤 雷 付国群 方志国

副 主 编 赵明志 官福海

参加编写人员 负 军 宋人心 郑金龙 傅 翔
何建东 顾培英 张 伟 邓 昌
孙长利 牛志国 赵前程 陆 俊
杨俊利 王海军 王卫东 张迎杰
赵海涛 张秋华 李 敏 王 戎
朱邦旭 骆星辰 付白璐 王 峥
杨慧然 赵拓伟 徐一萍

前 言

引滦入津隧洞工程于 1982 年 5 月正式开工, 1983 年 9 月建成并正式通水, 工期 1 年零 4 个月, 至今已运行 30 年, 产生了巨大的经济效益。但是, 在隧洞的运行管理过程中, 发现该工程存在诸如裂缝、麻面、渗水、钙质析出、拱顶脱空、底板脱空、出口段混凝土粉化等问题。引滦入津隧洞是单条隧洞引水, 是引滦工程的咽喉, 作为天津市的生命线工程, 其安全稳定容不得半点闪失。为了掌握隧洞的安全现状, 为隧洞除险加固提供科学依据, 2012 年引滦工程隧洞管理处会同南京水利科学研究院, 对引滦入津隧洞进行了一次全面系统的安全鉴定, 查清病害、理出安全隐患、提出应对措施, 为保障隧洞的长期稳定安全运行提供了十分重要的技术支撑。

我国水资源时空分布不均, 随着经济社会的发展, 越来越多的引调水隧洞工程已建或即将兴建。隧洞工程都是调水工程的咽喉命脉, 随着服役期限的延长, 老化病害逐步发生和积聚, 有的发展成为病险, 严重威胁隧洞工程的整体安全。目前大坝有《水库大坝安全评价导则》(SL 258—2000), 水闸有《水闸安全鉴定规定》(SL 214—98), 泵站有《泵站安全鉴定规程》(SL 316—2004), 《堤防工程安全鉴定导则》也已经正在编制。我国目前尚无用于指导水工隧洞安全鉴定的规范和标准, 引滦入津隧洞安全鉴定中采用的检测方法、评价标准和相应的成果, 对相关工程具有一定的借鉴和参考价值。因此作者对引滦入津隧洞 30 年安全鉴定工作进行了梳理和总结, 形成了本书。

全书分为 11 章, 其主要内容包括: 概论、历次安全评估与除险加固、隧洞工程质量评价、隧洞运行管理评价、隧洞工程衬砌混凝土检测与评价、隧洞工程地下水影响、隧洞工程围岩稳定性、隧洞工程出口段衬砌混凝土骨料“粉化”研究、上覆堆载对隧洞工程影响安全评价、隧洞工程结构复核计算、附属建筑物检测与安全评价。

本书内容上既有常规的混凝土和金属结构的检测和评估, 又有围岩岩体质量分级转换的理论研究、上覆堆载影响的数值模拟研究和混凝土骨料粉化的试验研究; 既包含隧洞工程的运行管理评价, 又包含检测评价。书中的检

测和评估的方案详细、实用性强。既可以作为水工隧洞安全鉴定和评估的理论参考，也可以作为实际鉴定和评估工作的指导。本书可供从事水工隧洞设计、施工、监理、科研与管理人员使用，也可供调水工程、基本建设的科技人员和高等院校相关专业的师生参考。

由于编写时间仓促，编写人员较多，书中疏漏和不当之处在所难免，诚请读者批评指正。

作 者

2013 年 7 月于南京

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 工程概况	1
1.2 工程地质	2
1.3 水文地质条件	7
1.4 设计与建造情况	10
第 2 章 历次安全评估与除险加固	13
2.1 洞段划分	13
2.2 前期检测与安全评估工作情况	14
2.3 除险加固工作情况	16
第 3 章 隧洞工程质量评价	18
3.1 隧洞工程地质与水文地质条件评价	18
3.2 隧洞工程建设质量评述	22
3.3 隧洞工程一期加固施工质量与效果评价	28
3.4 二期加固施工质量与效果评价	36
第 4 章 隧洞运行管理评价	49
4.1 隧洞建筑物运行管理评价	49
4.2 隧洞建筑物维修评估	56
4.3 隧洞建筑物检查和监测工作评价	62
第 5 章 隧洞工程衬砌混凝土检测与评价	74
5.1 衬砌混凝土质量检测与评价	74
5.2 衬砌混凝土变形和裂缝检测与评价	88
5.3 衬砌厚度和脱空检测与评价	104
5.4 混凝土抗冻性检测与评价	115
第 6 章 隧洞工程地下水影响	122
6.1 检测评价内容、方法与依据	122
6.2 漏水状况调查	124
6.3 外水压力检测	126
6.4 地下水水位检测与评价	129
6.5 水质检测与评价	131

第 7 章 隧洞工程围岩稳定性	142
7.1 隧洞工程原围岩分级工作	142
7.2 围岩岩体质量分级的转换	143
7.3 隧洞工程围岩稳定性与安全评价	159
7.4 隧洞工程围岩压力计算	160
第 8 章 隧洞工程出口段衬砌混凝土骨料“粉化”研究	164
8.1 检测评价内容、方法与依据	164
8.2 已开展的前期检测与分析工作情况	165
8.3 衬砌混凝土“粉化”分布调查	167
8.4 “粉化”衬砌混凝土芯样抗压强度试验	171
8.5 骨料的 X 射线衍射试验和岩相分析	173
8.6 出口段衬砌混凝土“粉化”原因与质量评价	178
8.7 出口段衬砌混凝土处理方法建议	180
第 9 章 上覆堆载对隧洞工程影响安全评价	181
9.1 评价内容、方法与依据	181
9.2 上覆堆载情况调查	182
9.3 堆载范围测量	183
9.4 堆载段隧洞荷载分析	186
9.5 上覆堆载对隧洞工程影响仿真分析及安全评价	190
9.6 上覆堆载对隧洞工程影响安全评价	197
第 10 章 隧洞工程结构复核计算	198
10.1 计算内容、方法与依据	198
10.2 数值模型建立	199
10.3 计算结果分析与评价	203
第 11 章 附属建筑物检测与安全评价	210
11.1 检测内容、仪器设备及依据	210
11.2 检测方法	211
11.3 建筑物安全评价	214
11.4 混凝土结构检测与评价	214
11.5 金属结构检测	221
11.6 工程复核计算	226
参考文献	234

第1章 概 论

1.1 工 程 概 况

引滦入津工程是解决天津市城市用水的一项重大战略措施。引滦入津是将潘家口水库里的滦河水,跨流域引入海河水系到天津,这是一项引水、输水、蓄水、净水、配水完整配套的大型供水工程。该工程东起河北省迁西县的大黑汀水库,南止天津市的西河水厂。从大黑汀水库坝下的引滦总干渠分水闸起穿引滦入津隧洞,循黎河入于桥水库,由于桥水库放水洞经引滦暗渠过九王庄水闸,进入引滦明渠,到潮白河进一级泵站,穿潮白河、青龙弯两座倒虹吸进尔王庄二级泵站,提升或自流后通过明渠再穿北京排污河和机场排污河到大张庄三级泵站,提升后又穿永定新河到宜兴埠水厂泵站,由宜兴埠泵站加压到西河水厂,工程全长 234km,途经河北省迁西县、遵化市,天津蓟县、宝坻、武清、北郊区,沿途有隧洞、水库、电站、闸涵、明渠、暗渠、倒虹吸、泵站等工程。

引滦入津隧洞工程位于滦河大黑汀水库与黎河接官厅村之间的分水岭地带。东起河北省迁西县大黑汀村西引滦入唐总干渠 0+500 处的分水闸,西行穿翻鞍寨沟、横河谷地沿单薄山脊再经由山西村、北转坡、八里铺北,在景忠山北麓穿过滦河—黎河分水岭,过张老峪、鸡冠山,于炸糕店村南入黎河河道。主体工程包括进口闸、引水明渠、明挖隧洞、洞挖隧洞、出口防洪闸及消能设施等。工程全长 12.395km,其中明挖隧洞 1.724km,洞挖隧洞 9.666km。隧洞设计流量 $60\text{m}^3/\text{s}$,设计水深 3.92m,相应流速 2.68m/s ;校核流量 $75\text{m}^3/\text{s}$,校核水深 4.68m,相应流速 2.81m/s ,隧洞设计糙率 0.015,实际糙率 0.013。隧洞工程设计每年调水能力为 10 亿 m^3 ,全年通水 210~270 天。

隧洞工程进口高程 114.30m,坡降 1/1200,沿线地面高程大都在海拔 145~200m 之间(黄海高程),仅张老峪村西侧山脊高程达 298m。隧洞大部分埋深在 40~60m 之间,沟谷地段最小埋深仅 10m 左右,个别处最大埋深达 100m 以上。由于隧洞洞线较长,沿途所经过的地质条件非常复杂。其所处的分水岭地带除局部为元古界石英岩外,几乎全部为太古界上川组和三屯营组片麻岩,岩性复杂,主要为黑云母斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩等,片麻岩节理明显,其中穿插有各个地质时期性质不同的岩脉,如煌斑岩、闪长岩、细晶岩、伟晶岩等,厚度都不大。片麻岩风化较强,风化厚度一般 20~30m 之间,隧洞洞身绝大部分处在弱风化或微风化的岩层内。从地质构造上来说,引滦隧洞所处的分水岭地带处于马兰峪山字形和迁西山字形构造带展布区,洞线东段位于迁西山字形构造脊的西侧,以近南北向的压性断裂为主,规模较小;洞线西段位于两山字形反射弧的复合部位,因此构造较为复杂,断裂和挤压破碎非常发育。隧洞沿线有大小断层 176 条, F_{11} 、 F_9 、 F_{10} 、 F_1 等断层和 P_4 、 P_3 等挤压破碎带宽度都在 10m 以上,断层多呈高角度压扭性质,节理一般都在 3 组以上,以与洞线方向近于一致的高角度节理和缓倾角节理对隧洞工程洞

线稳定影响最大。尤其是 F_{10} 和 F_1 两条断层为甚。隧洞全线均处于地下水位以下，洞底以上最大水头达 65m，如果不采取有效排水措施，外水压力将很大。

隧洞断面形式有直墙半圆拱的城门洞型、马蹄型和方涵型等，并以城门洞型为主，洞宽 5.7m，高 6.25m。隧洞衬砌形式有 4 种基本衬砌类型共 11 种衬砌形式。其中，模筑段衬砌厚度 0.50~0.60m，位于大断层带附近的厚度为 0.7m，锚喷段厚度为 0.25~0.30m。衬砌形式与厚度视围岩坚固系数 f 值而定。衬砌混凝土设计抗压强度，进出口段为 25MPa，其余洞段为 20MPa。半圆拱横向配筋 $\Phi 16@20$ ，边墙横向配筋 $\Phi 16@40$ ，纵向配筋 $\Phi 12@33.3$ 。以单层内侧配筋洞段为主，部分地质较差洞段如李家沟、 F_9 、张老峪、 F_{10} 等则在最大拉力处配置每米 5 根 $\Phi 28$ 钢筋。为减少外水压力作用，在底板下面设排水盲沟，在拱部设排水孔。主要建筑物按二级设计，地震设防烈度为Ⅶ度。

在施工建设过程中为了争取时间加快施工进度，采取了长洞短打即利用洞线上的沟谷、浅埋地段多挖斜井和竖井。共打斜井 17 个，全长 2319.8m，占洞挖隧洞长度 24%，平均深度 30~40m。在隧洞工程建成后保留了 2 号、6 号、9 号、15 号斜井作为永久支井，其余斜井全部封填；同时共打竖井 8 个。

1.2 工 程 地 质

工程地质的勘测工作共经历了选线阶段、初步设计阶段和施工阶段。

1.2.1 地形地貌

引滦入津隧洞系穿过滦河与黎河之间的分水岭。分水岭地带宽超过 10km。属低山丘陵地貌，其间有横河和其他沟谷切割。

进口地带属滦河阶地，宽超过 500m，地面高程 115~130m 之间，属滦河三级阶地。

出口地带为黎河河谷，宽 100~500m。河床底面高程由 115m 至炸糕店桥降至 104m，河床紧靠左岸鸡冠山，右岸为漫滩和阶地，比河床相应高出 1~2m，河谷右岸为丘陵。

在分水岭中西部，横河由西北向东南横贯全区而流入滦河。横河分南、北两支，在横河村以下汇合，河谷宽超过 500m，洞线处河谷高程 120~123m。横河南北支之间为一近东西向的单薄山脊，宽 60~350m，高程 160~180m，其中也有数处沟谷，最低高程只有 130m。

分水岭地带被横河和沟谷切割，地貌大致可分为 3 段：

横河以东属低山丘陵地带，地势北高南低，北面将军帽山高程为 361m，南面横河阶地高程 117~125m。洞线所经过的地面高程多在 160~180m 之间。

中部李家沟至张老峪沟之间，地势南高北低，南侧景忠山高程 611m，为分水岭之颠。山麓北侧为古老的洪积扇，被后期沟谷切割，地形略有起伏，地面高程为 160~200m，洞身在洪积扇下部通过。

横河以西黎河之东为鸡冠山，由于岩性的差异，石英岩形成峻峭的山脊，片麻岩形成山体缓坡，在洞线附近形成突变，地面高程超过 220m。

1.2.2 地层与岩性

隧洞地带的地层和岩性有太古界片麻岩系、元古界石英岩、各不同地质时期脉岩及第四系松散堆积物,由老到新简述如下。

1. 太古界片麻岩系

片麻岩出露广泛,隧洞洞身几乎全部由此层穿过。由于混合岩化等区域变质作用,岩性比较复杂,根据区域资料对比确认本区片麻岩系属太古界双山子群上川组和三屯营组。

(1) 上川组:主要分布于大黑汀至横河一带,岩石变质较深,大致可分为上、下两段。

下段分布于小黑汀至翻鞍寨一线,主要岩性为中粗粒黑云斜长片麻岩、黑云变粒岩、二辉斜长麻粒岩类。有少量磁铁石英岩透镜体,局部亦可见到混合岩化花岗岩透镜体,片麻理不清晰。片麻理走向近南北,大部为北东 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$,倾向北西或南东,倾角 80° 左右。此层岩石抗风化力较强,低山丘陵表部多为全、强风化,沟谷底部出露弱风化岩石,在断层破碎带及节理密集带附近,风化程度就更深一些。

上段出露于将军帽山到横河北沟一带,主要岩性为中粒黑云角闪斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、局部夹黑云变粒岩、辉闪岩及磁铁石英岩透镜体。主要矿物成分为斜长石和角闪石、石英及少量黑云母,有的可见黄铁矿星点分布。片麻理较清晰,走向北东 $5^{\circ}\sim 20^{\circ}$,倾向南东或北西,倾角 80° 左右。此层矿物颗粒较细,质地均一,抗风化力较强,表部大部分弱风化,多形成山脊,局部可见陡崖。

(2) 三屯营组:此组分布最广,由横河村直到接官厅,均为此组岩层,也可分为上、下两段。

下段出露于横河村至张老峪沟一带,主要岩性为中粒黑云斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩,夹有斜长角闪岩及磁铁石英岩透镜体,在张老峪沟东侧还夹有较多的花岗片麻岩,有的酷似伟晶岩,具有纹象结构。片麻岩矿物成分主要为角闪石、斜长石、少量黑云母和正长石,局部可见黑云母富集现象,有的还可见到蛭石。岩石的矿物不均一,铁镁质含量较高,岩石抗风化能力较弱,除北转坡地段外,其他大部分地段全、强风化层厚一般都在30m左右。

上段出露在西部鸡冠山至接官厅、炸糕店一带。主要岩性为中粗粒黑云斜长片麻岩、黑云角闪片麻岩、角闪斜长片麻岩,夹有斜长角闪片麻岩和磁铁石英岩透镜体,局部还可见到混合岩化角闪斜长片麻岩。片麻理较清晰,走向北东 30° 左右,倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$,局部变化较大。主要矿物成分有角闪石、斜长石、石英和少量黑云母,铁镁质矿物较多,抗风化力较差,加之构造变动剧烈,风化较重,表部大部分为强风化,沿黎河岸边可见弱风化岩。

以上片麻岩都属坚硬块状岩石,片麻理一般都不属于软弱结构面。片麻理走向近南北,与洞线近于直交,倾角也较大,这是成洞的有利条件。

2. 元古界长城系石英岩

石英岩出露于景忠山、鸡冠山一带,以断层接触,不整合于太古界片麻岩之上。主要

岩性为石英岩、石英岩状砂岩、含砾石英岩，局部层间夹有绢云母板岩。石英岩由于受 F_{10} 、 F_1 断层控制，向北和深处都呈尖灭之势，尖灭部分岩石极为破碎。鸡冠山东侧石英岩走向北西 330° ，倾向南西，倾角 $44^\circ \sim 56^\circ$ ；西侧走向北东约 30° ，倾向北西，倾角约 $60^\circ \sim 70^\circ$ ，石英岩属层状岩石，单层厚 $30 \sim 70\text{cm}$ ，坚硬性脆。

3. 各不同地质时期脉岩

在片麻岩和石英岩中穿插有不同种类脉岩，展布方向大部为北东向，少数北西向，倾角一般 60° 左右。脉岩与围岩接触一般都较好，有的有错动，形成碎裂岩，甚至有泥质。脉岩的岩性也甚复杂，大致可分下列几种。

(1) 煌斑岩脉：宽度不大，一般为 $0.5 \sim 2.0\text{m}$ ，矿物成分有角闪石、正长石和少量石英，易于风化，地貌上常呈现凹沟。

(2) 闪长玢岩脉：出露广泛，宽度较小，一般都不超过 1m ，主要为角闪石及少量斜长石组成，强度较高，地表所见呈碎块状。

(3) 细晶岩脉：肉红色成岩墙，宽度 $1 \sim 30\text{m}$ ，出露在 2 号斜井东侧，主要矿物为石英、斜长石和正长石，与围岩接触面劈理发育，较为破碎。

(4) 伟晶岩脉：分布零星，多成不规则形状，大致呈东北向，主要矿物为正长石、石英、斜长石，有时可见黑云母和文象结构，肉红色，岩性脆，附近裂隙发育。

4. 第四系松散堆积物

第四系堆积物，厚度不大，成因类型多，时代有老有新，仅就与工程关系密切的冲积层分述于后。

(1) 滦河阶地堆积层：分水枢纽闸至隧洞进口一段，顶部和下部均为土层，中部为砂，属于亚黏土和中细砂，总厚度不超过 10m 。

(2) 横河河床冲积砂砾石：厚 $5 \sim 8\text{m}$ ，两侧漫滩在砂砾石层上还覆盖有土层和砂，土层厚 1.5m 左右，含腐殖质较多。

(3) 黎河冲积层：上部为中粗砂和砂砾石，厚 $2 \sim 3\text{m}$ 和 $4 \sim 5\text{m}$ ，下部为淤泥质土，较为紧密，厚 4m 左右。总厚度 10m 左右。

1.2.3 地质构造

隧洞地段在大地构造单元上，属于天山—阴山纬向构造带的东端南缘，由一系列褶皱和冲断层组成。在该地区发展成马兰峪、迁西两个山字形构造，形成了近南北向、北东向、北西向压性、压扭性断层。隧洞东段和中段位于迁西山字形马蹄形盾地西侧。以南北向、北东向断层为主；西段至出口位于两个山字形构造反射弧的复合部位，断裂发育，规模较大，岩体破碎，与构造活动同时，伴随着岩浆活动，片麻岩中常见中、酸性岩脉，后期新华夏构造活动时，本区又受到不同程度影响，使得构造形迹更加复杂。

洞线东端大黑汀水库及其上游潘家口水库兴建时，地震基本烈度经国家地震局鉴定为Ⅶ度。1976 年唐山地震时，遵化、迁西一带反应亦较强烈，经国家地震局再度鉴定仍为Ⅶ度。因此沿洞线的基本烈度按Ⅶ度考虑。

输水洞线地段主要受到两个山字形构造影响，断裂比较发育。宽度大于 1m 或对工程有影响的断层如表 1.1 所示。

1.2 工 程 地 质

表 1.1 主要断层统计表

序号	断裂 编号	桩 号	产 状			力学 性质	宽度 (m)	特 征
			走向 (°)	倾向	倾角 (°)			
1	f ₂ ^A	0+046~0+047.5	308	SW	37	压扭	0.6	具断层泥、糜棱岩, 厚 0.6m
2	f ₆₄	0+272~0+284	30	NW	82	压扭	6.0	断层泥、糜棱岩, 厚 0.75m
3	f ₆₈	0+300~0+303	30	SE	70	压扭	0.5	断层泥、糜棱岩, 厚 0.5m
4	f ₁ ¹	0+516~0+518	340	SW	80	张扭	0.9	构造岩厚 0.9m, 水成股流
5	f ₂ ¹	0+632~0+635	30	NW	73	压扭	0.9	断层泥厚 0.1m, 水成股流
6	P ₄	0+642~0+660	30	SE	70	压扭	18.0	构造岩厚 6m, 水成股流
7	f ₃ ¹	0+736~0+740	15	NW	65	压扭	4.0	构造岩厚 2m, 水成股流
8	f ₇₄	1+112~1+120	340	NE	80	扭	1.5	构造岩厚 1.5m, 面上夹泥
9	F ₁₈	1+396~1+409	15	SE	80	压扭	4.0	构造岩厚 4.0m, 面上夹泥
10	F ₂₀	1+566~1+584	63	NW	78	扭	18.0	构造岩厚 1.7m, 碎裂岩宽超过 10m
11	F ₁₆	1+763~1+777	335	SW	70	扭	6.0	断层泥, 角砾岩厚 1m
12	F ₁₄	2+076~2+085	15	NW	70	压扭	5.0	由 5 条断裂面组成, 股流
13	f ₁ ¹	2+214~2+218	50	NW	60	扭	0.9	构造岩厚 0.9m
14	F ₃₄	2+611~2+633	340	SW	75	张扭	30.0	碎裂岩为主, 影响带宽 65m
15	F ₁ ^B	3+266~3+270	S. N	W	85	张扭	4.0	构造岩宽 2.0m, 股流
16	f ₃₂	3+714	S. N	W	85	压扭	1.0	见角砾岩, 糜棱岩, 渗水
17	f ₁₇ ⁵	4+043.6~4+044.3	10	NW	84	压扭	1.0	见压碎岩, 断层泥, 渗水
18	f ₂₈	4+270~4+276	20	SE	55	压扭	1.3	见压碎岩, 断层泥, 渗水
19	f ₂₁	4+676~4+693	70	NW	64	张扭	6.05	胶结不良, 喷涌
20	F ₂ ⁷	5+482.2~5+487	12	NW	87	压扭	4.8	构造岩, 泥质胶结, 渗水
21	F ₁ ⁷	5+541.0~5+542	15	NW	70	压扭	1.3	构造岩胶结差, 线流
22	F ₁ ⁸	6+740~6+749	70	NW	70	压扭	9.0	见糜棱岩, 断层泥, 线流
23	F ₈ ⁹	6+968~6+976	61	NW	81	压扭	7.5	见糜棱岩, 角砾岩, 滴水
24	F ₆ ⁹	6+990~6+995.5	20	NW	45	压扭	5.5	见压碎岩, 滴流
25	F ₉	7+007~7+038.4	30	NW	79	压	31.4	见角砾岩, 断层泥, 压碎岩, 股流
26	F ₃ ⁹	7+152.7~7+179.7	55	NW	75	压	27.0	见角砾岩, 断层泥, 压碎岩, 股流
27	F ₉₆	7+402~7+413	40	NW	40	张扭	11.0	见糜棱岩, 压碎岩, 滴水
28	F ₄ ¹⁰	7+607.6~7+616.2	15	NW	74		5.1	见糜棱岩, 压碎岩, 滴水
29	F ₁ ¹⁰	7+686~7+689	28	NW	87	压扭	3.0	见断层泥, 糜棱岩, 线流
30	f ₆ ¹¹	8+295~8+300	30	NW		压扭	4.9	见糜棱岩, 角砾岩, 滴水
31	f ₃ ¹¹	8+512.6~8+547.6	5	NW	87	压扭	5.0	断层泥, 糜棱岩, 角砾岩, 渗水
32	F ₆ ¹²	8+738.6~8+741.2	38	NW	80	张扭	5.2	糜棱岩, 角砾岩, 胶结差, 线流
33	F ₇ ¹²	8+790.8~8+795	30	NW	75	张扭	1.0	见断层泥, 角砾岩, 线流
34	F ₄ ¹²	8+889~8+914	50	NW	56	张扭	15.0	糜棱岩, 压碎岩, 线流

续表

序号	断裂 编号	桩 号	产 状			力学 性质	宽度 (m)	特 征
			走向 (°)	倾向	倾角 (°)			
35	f ₄ ¹²	8+977.2~8+981.2	35	NW	87	张扭	4.2	角砾岩, 压碎岩, 线流
36	P ₂₈	9+746~9+752	45	SE	76	张扭	6.0	破碎夹泥, 水成股流
37	F ₁₀	10+050~10+080	340	SW	45~56	压扭	38.0	断层泥, 糜棱岩, 角砾岩, 影响带宽
38	F ₁	10+105~10+148	30	NW	80	压扭	43.0	断层泥, 糜棱岩, 角砾岩, 影响带宽
39	P ₃	10+310~10+322	45~60	NW	65	压扭	12.0	构造岩中夹泥
40	F ₁ ¹⁵	10+322~10+364	40~50	NW	55~74	压性	42.0	具断层泥, 糜棱岩, 角砾岩
41	f ₁ ⁵	10+347.2~10+351	45	NW	19~23	压性	1.0	具断层泥, 糜棱岩
42	f ₇₅	10+495~10+497	30	NW	50	压扭	0.9	具断层泥, 糜棱岩
43	F ₁ ^c	11+009~11+020	15	NW	74	压扭	9.5	具糜棱岩

注 F表示断层宽度大于1m; f表示断层宽度小于1m; P表示破碎带; f₁^c表示4号支洞内洞轴线上的第1条断层, 其他类似。

由表 1.1 可知, 在 43 条主要断层中, 北东向为 19 条, 约占 44.19%, 北北东向为 14 条, 约占 32.56%, 北西向为 6 条, 约占 13.95%, 北东东向 4 条, 约占 9.3%。

除断层外, 片麻岩中节理也很发育, 大都在 3 组以上。特别需要指出的, 1 组近东西向高角度节理, 与洞线基本上平行, 对隧洞边墙稳定不利, 另 1 组缓倾角节理, 也对顶拱稳定不利, 如果两组节理组合, 在开挖中往往是形成塌方因素之一。

1.2.4 片麻岩物理力学参数

由于片麻岩出露广泛, 隧洞洞身几乎全部穿过此岩层, 勘测期间在洞身附件钻孔采取 70 多个岩样, 直径约 38mm, 进行物理力学试验, 测得的物理力学参数如表 1.2 所示, 表中各数值是平均值, 并换算成为国际单位制, 为隧洞工程相关安全评价提供符合工程实际的参数。由表 1.2 可知, 湿抗压强度明显低于干抗压强度。

表 1.2 片麻岩物理力学参数表

岩石名称	比重 (kg/m ³)	容重 (N/m ³)	吸水率 (%)	干抗压强度 (MPa)	湿抗压强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)
角闪斜长片麻岩	2770	26852	0.17	106.62	75.25	12.80
斜长角闪片麻岩	2760	26460	0.17	—	83.55	11.51
黑云斜长片麻岩	2940	28322	0.19	73.63	—	—
黑云母斜长角闪片麻岩 1	2840	27146	0.16	115.53	63.72	12.99
黑云母斜长角闪片麻岩 2	2970	28224	0.16	136.95	82.91	14.27

注 黑云母斜长角闪片麻岩 1 代表钻孔号 110、112、121、128; 黑云母斜长角闪片麻岩 2 代表钻孔号 123、124、125。

施工阶段, 对 3+300~9+210 段的片麻岩取了 5 处岩样, 进行物理力学试验, 其测得的物理力学参数如表 1.3 所示。

表 1.3 3+300~9+210 段片麻岩物理力学参数表

岩石名称	取芯桩号	比重 (kg/m^3)	容重 (N/m^3)	吸水率 (%)	饱和抗压强度 (MPa)			
					1	2	3	平均
黑云母角闪斜长片麻岩	3+505	2740	26166	0.25	141.32	141.32	102.9	128.51
角闪斜长片麻岩	4+414	2740	26460	0.20	145.43	96.63	57.72	99.93
云母角闪斜长片麻岩	5+320	2900	27440	0.25	182.67	69.78	194.04	148.83
云母角闪斜长片麻岩	5+770	2730	26362	0.20	108.49	101.73	115.94	108.72
云母斜长片麻岩	6+551	2670	25480	0.25	92.41	42.53	124.26	86.40

由表 1.3 可知,各处岩样的吸水率在 0.20~0.25 之间,表明岩石孔隙发育程度变化不大,并且在试验中发现,试件的吸水率和饱水率数值相同,说明岩石的孔隙基本为开口孔隙,而无闭口孔隙,饱水系数为 1,达到最大,岩石是不抗冻的。

岩石的抗压强度试验,除 6+551 处低为 86.40MPa 外,其余都大于 98MPa (即 $1000\text{kg}/\text{cm}^3$),6+551 处是由于一组试件上有裂纹使抗压强度降低,另有两组试件上虽然带有裂纹,但其抗压强度平均值均大于 98MPa,且无裂纹的试件强度基本在 98MPa 以上,表明岩石的抗压强度大,为坚硬岩石,工程地质条件较好。

1.3 水文地质条件

1.3.1 含水层的类型

引滦入津隧洞地区按其所处的地貌单元和底层岩性以及地下水埋藏条件,可分为第四纪裂隙潜水、基岩裂隙潜水两种基本类型。经勘探与开挖证实,两者之间并无明显隔水层。

1. 第四纪裂隙潜水

第四纪裂隙潜水多分布在滦河、横河、黎河河谷内砂砾石含水层及冲沟内冲洪积层中。厚度 2~10m,埋藏浅。水量丰富,水位随季节有变化,但变幅不大。河谷两岸基岩裂隙水补给河水,河水沿河床底部岩石风化裂隙带下渗,又与基岩裂隙水连通。砂砾石透水性好,因岩性的变化和受不同地貌部位的影响差异性较大。渗透系数一般为 50~100m/昼夜。

2. 基岩裂隙潜水

片麻岩本身是不含水的,地下水赋存于岩石裂隙之间,多属脉状水。按其赋存条件本区又可分为:岩脉与围岩接触带裂隙水、断裂带裂隙水和岩石风化带裂隙水 3 种类型。

(1) 岩脉与围岩接触带裂隙水。岩脉与围岩接触地带,节理裂隙发育,岩脉本身又起到阻水作用,很利于地下水富集。开挖后局部可形成股流或大淋水,在施工中,这种现象时有发生。当岩脉挖穿后,水量一般都会逐渐减小。只有在时间上和水量上有充足补给来源时,水量才不会减弱,但随季节变化而变化。

(2) 断裂带裂隙水。由于断层对岩石的破坏作用,除断层带外,尚波及其两侧一定宽

度的影响带。压性、压扭性断层一般只起阻水作用，本身不赋存地下水，在断层上盘的影响带受断层影响裂隙发育，岩石破碎，利于地下水赋存而形成富水带。施工开挖所遇压性、压扭性断裂，地下水多呈线流，在主结构面附近一般会出现股流，在补给条件不佳地段随着地下水不断的排泄，水量会逐渐减小，一般经过7~15天左右大都变为线流至滴渗状态。对于预测到水大的地段，施工中需事先做超前排水。

(3) 风化带裂隙水。地下水自上部沿全、强、弱、微风化岩层裂隙向下渗入。地下水位随地形及风化界面起伏而有所变化，水量上多下少，分布广泛。富水程度随其风化强度、地貌位置的不同而变化。一般规律是位于沟谷中的全、强风化带富水程度较高，呈滴流、线流状态，而弱、微风化带富水程度低，呈隐渗潮湿状态。

引滦入津隧洞地区的水文地质条件与地形、地貌、构造和风化等条件有关。各地段的建筑物类型和水文地质条件如表1.4所示。

表 1.4 建筑物类型与水文地质条件

桩 号	长度 (m)	地 貌 及 岩 性	含水层性质	建筑物类型
T0+000~T0+319 T0+319~0+268	587	滦河阶地，地面高程113~132m；第四纪黏土类土、砂砾石、砂卵石	孔隙潜水	分水枢纽、明渠、明挖隧洞
0+268~2+730	2462	丘陵，地面高程132~360m；片麻岩	裂隙潜水	隧洞
2+730~3+302	572	横河河谷，地面高程118~125m；第四纪黏土类土、砂砾石、砂卵石	孔隙潜水	明挖隧洞
3+302~6+650	3348	单薄山脊（丘陵）和缓丘陵，地面高程128~210m；片麻岩	裂隙潜水	隧洞
6+650~9+600	2950	平缓丘陵，上覆古洪积扇，地面高程160m左右；上层洪积黏土类土夹碎石，下部片麻岩	上层孔隙潜水； 下层裂隙潜水	隧洞
9+600~10+506	906	丘陵，张老峪沟，地面高程138~340m；基本为片麻岩，F ₁₀ ~F ₁ 断层之间为石英岩，冲沟内表层土夹碎石	裂隙潜水	隧洞
10+506~12+075	1569	黎河河谷，地面高程107~120m；第四纪黏土类土、砂卵石	孔隙潜水	明挖隧洞、明渠

1.3.2 基岩裂隙水的渗透性

初设勘察阶段的172段压水试验表明，单位吸水量（ ω 值）大部分小于0.03L/min·m·m，即片麻岩裂隙水的渗透性不大。但是各地段又有大于0.03L/min·m·m的孔段，最大值有的达到0.26L/min·m·m，这又表明片麻岩裂隙水渗透的不均匀性。

施工中，将出水地段分为股流、线流、滴流、隐渗4种状态。

股流：在边墙及底板表现为水自某一通道流出形成水流，在拱顶则自通道流，洒落洞内成淋水状。

线流：聚集及滴落的速度较快，间隔甚短或连续滴落。

滴流：地下水活动缓慢，缓慢地聚集成水珠而滴落，时间间隔较长，滴落速度一般为3~5滴/min，最快者20~25滴/min。

隐渗：不见地下水的聚集、滴落、流动等地下水活动，表现为洞壁、洞顶、底板潮湿。

其中线流、滴流、隐渗 3 种形式出露的地下水，在洞内多是均匀分布，能形象和具体地代表该洞段的实际情况。而股流（包括呈喷涌状态）往往是集中单点溢出，只说明该裂隙的水量。在实际工作中，将受股流或裂隙影响的洞段列为股流段。当然，以此表示该洞段的地下水量并不是一个严密的办法。

若以每米洞长的水量区分线流、滴流、隐渗，以单点的出水量计算股流，那么地下水的出溢现象和相应水量如表 1.5 所示。

表 1.5 隧洞地下水出溢状态及水量划分

出溢状态	股 流	线 流	滴 流	隐 渗
水量 (L/s)	>0.1	0.1~0.01	0.01~0.001	<0.001
备注	为单点水量，代表洞段性较差		为每米洞段出水量，能表示地下水的实际情况	

根据施工地质测绘所编制的工程地质剖面图，将隧洞内的地下水出溢状态进行统计如表 1.6 所示。

表 1.6 地下水出溢状态与长度统计

洞段	桩 号	出 溢 状 态				合计 (m)
		股流	线流	滴流	隐渗	
东段	0+268~2+730	345	331	1206	580	2462
中段	3+302~6+650	71	327	881	2069	3348
	6+650~9+210	528	494	955	583	2560
西段	9+210~10+506	199	182	485	430	1296
合计 (m)		1143	1334	3527	3362	9666
百分比 (%)		12	14	36	38	100

从表 1.6 可以进一步看出，片麻岩总的渗透性不大，裂隙水以滴流、隐渗溢出为主，其中隐渗出露段占隧洞长度的 38%，滴流出露段占隧洞长度的 36%，各地段的含水量和渗透性是不均匀的。

1.3.3 地下水的补给与排泄

因受地形、地貌因素的影响，隧洞洞线各段地下水的补给与排泄关系不同。

横河以东丘陵地段，除大气降水补给外，还接受北侧将军帽山区片麻岩裂隙水的补给。此段东为滦河，南部、西部为横河。滦河、横河就是该段地下水排泄方向。地下水位在 130~141m 之间。

横河至山西村一段单薄山脊，南北两侧分别为横河南、北支河谷，地下水排泄条件甚好，仅有大气降水补给。地下水位最低在 124~130m 之间。

山西村至张老峪沟为一丘陵和古洪积扇地貌区。该段地下水补、排关系复杂。除大气降水补给外，东半段还接受北侧低山基岩裂隙水的补给。西半段南侧为景忠山，补给面积