

引滦入津隧洞糙率两次原型观测成果综述

陈耀忠

(国家电力公司昆明勘测设计研究院科研分院, 云南 昆明 650051)

摘要 简介 1985 年 5 月昆明水电设计研究院科研所与引滦入津隧洞管理处合作, 对引滦入津输水隧洞的水力糙率进行第一次原型观测的情况。观测结果表明, 该隧洞的平均综合糙率为 0.0120 ~ 0.0123。着重介绍 2000 年 3 月进行第二次糙率原型观测的情况。观测结果表明: 由于 15 年来管理者对隧洞底板进行了多次全面的维修, 使底板部分的糙率有所减小, 边墙因受进口明渠侧门洞口和隧洞内维修裂缝时在边墙表面遗留了若干“补疤”造成局部阻水的影响, 糙率略有增大, 但全洞的平均糙率仍然保持在 0.0125 水平。由此证实, 对于现代的混凝土衬砌输水隧洞或明渠, 设计采用糙率 $n = 0.013$ 是完全可行的。

关键词 引滦入津工程; 输水隧洞; 水力糙率; 原型观测

中图分类号 :TV554 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2005)02-0058-04

Summary of two times' prototype observation results of roughness coefficient for water diversion tunnel from Luanhe River to Tianjin City//CHEN Yao-zhong (Branch Institute of Scientific Research, Kunming Hydroelectric Investigation, Design and Research Institute, State Power Corporation, Kunming 650051, China)

Abstract: The first prototype observation, performed by Branch Institute of Scientific Research of Kunming Hydroelectric Investigation, Design and Research Institute and the project management authority of the water diversion tunnel from Luanhe River to Tianjin City in May 1985, showed that the average roughness coefficient of the water diversion tunnel was within a range of 0.0120-0.0123. The second prototype observation, performed in March 2000, revealed that the roughness coefficient of the tunnel base plate decreased a little due to repeated maintenance by the project management authority, while the roughness coefficient of the tunnel side wall increased because of water flow being somewhat resisted by a number of patches left on the side wall surface for crack treatment. However, the average roughness coefficient of the whole tunnel still remained about 0.0125. So it is feasible to adopt the roughness coefficient of 0.013 in design of a concrete-lined water delivery tunnel or an open channel.

Key words: water diversion from Luanhe River to Tianjin City; water delivery tunnel; roughness coefficient; prototype observation

1 工程概况

引滦入津输水隧洞全长 12.4 km, 断面为半圆拱直墙型和矩形, 宽 5.7 m、高 6.25 m。设计流量 60 m³/s, 校核流量 75 m³/s; 设计水深 3.92 m, 校核水深 4.68 m。洞底纵坡 1/1200, 为标准的无压明流输水隧洞。隧洞在施工时进行喷锚支护的总长度约为 8 km(挖隧洞总长度 9.7 km), 为了降低糙率, 边墙统一采用 1 m × 0.45 m(宽 × 高)的钢模板浇注混凝土内衬。隧洞底板为分离式浇注, 分段(长度 6 ~ 8 m)人工抹平。

该隧洞自 1983 年 9 月 11 日正式输水, 到 1999 年底, 已累计输水约 100 亿 m³。其中, 1992 年输水量最多, 为 9.22 亿 m³; 1993 年输水时间最长, 达 209 d。

引滦入津隧洞线路平面布置如图 1。由图 1 可

见大黑汀水库、引滦枢纽闸和引滦入津隧洞的进口、2 号斜井、6 号斜井、9 号斜井、15 号斜井、出口, 以及黎河的具体位置。

2 引滦入津隧洞第一次糙率观测情况

2.1 背景情况

1983 年引滦入津隧洞竣工通水后, 在国家自然科学基金资助和水利电力部科技司、天津市水利局的支持以及引滦工程隧洞管理处的配合下, 昆明水电设计研究院科研所曾于 1985 年组织科研人员赴河北迁西, 分别对钢模注混凝土衬砌的引滦入津隧洞、引滦入唐掘进机开挖喷护的新王庄隧洞和光爆开挖锚喷支护的八一林隧洞进行了糙率原型观测^[1, 2]。

引滦入津隧洞所取的观测段全长 11.4 km, 洞线

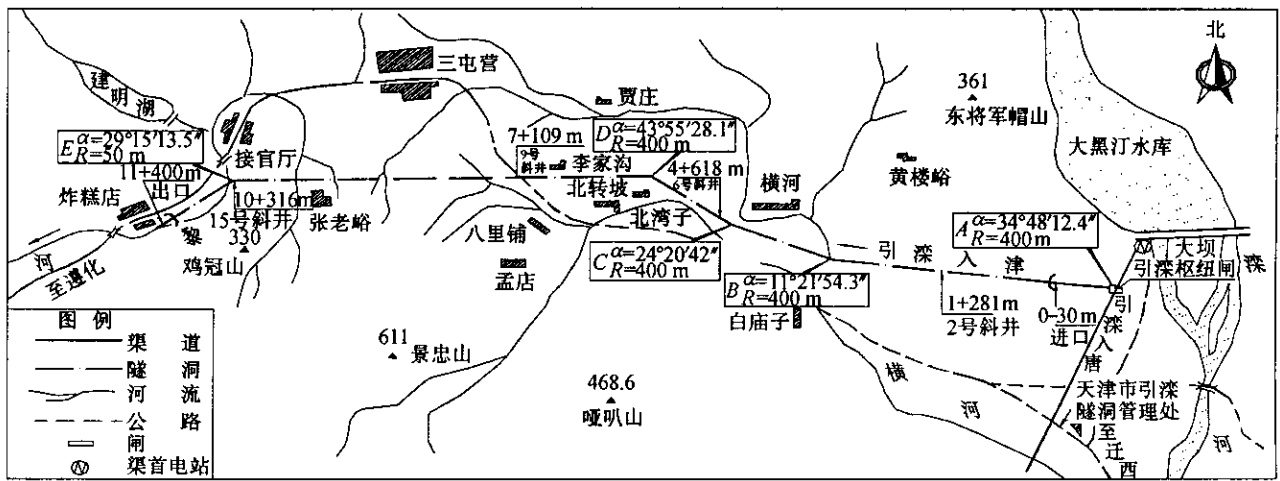


图1 引滦入津隧洞线路平面布置示意图

相对顺直,底坡一致,断面均一,且进、出口都有明渠段,有较好的流量测验条件。同时,洞线上留有4条施工支洞(2号、6号、9号、15号斜井),可直接且精确测量沿洞水面线高程。

整条隧洞(包括进、出口明渠段)水面线以下均为宽5.7m的矩形棱柱体渠槽,边墙表面均为钢模板浇注混凝土面,底板均为人工抹平混凝土面,全洞通流表面粗糙情况基本一致,从而为准确测量水位、流量来反算糙率 n 值提供了良好的观测条件。

2.2 观测成果^[1]简介

1983年8月隧洞竣工验收时,曾校测底板高程5049个点,一般与设计底坡线的高程误差小于 ± 1.5 cm,最大为 ± 3.2 cm;隧洞断面净空宽度校测了124个,一般偏大0~3cm,个别偏大8cm。

1985年观测前,现场考察情况如下:边墙钢模板(1m \times 0.45m)接缝明显,凸凹高度一般小于5mm,平均4.3mm;1m²范围内的不平整度平均3mm。另外,在隧洞段两底角处有外径6cm、高约10cm、间距2m左右的排水管近1万根;在渠涵段,有30cm \times 30cm的贴角存在。底板在施工段(6~8m)内的相对不平整高差平均为1.7cm。总的看来,底板比边墙粗糙,局部洞底板有麻面、冲坑和裂缝上鼓等。统计的麻面、冲坑和裂缝上鼓共有123处,估计总面积31.6m²,冲坑最大深度5~8cm,尤其以9号斜井以下第4观测段的底板部分最差。

隧洞糙率观测共设6个断面,各断面的底板高程、各观测段的长度、底高差及弯道情况见图1及表1。观测成果见表2。

由表2可见,全洞平均糙率 \bar{n} 值随流量增大而略有减小,反映了底板比边墙粗糙的实际情况。当流量为62.35m³/s时,全洞平均综合糙率为0.0120;当流量为38.45m³/s时,全洞平均综合糙率为0.0123。从表2还可以看出,各观测段平均糙率值的变化范

围为0.0117~0.0126,以第4观测段最大,该结果与糙度描述该段底板最差的实际情况相符。

表1 引滦入津隧洞糙率观测断面资料

观测断面号	断面位置	桩号	底板高程/m
①	进口	0-010m	114.320
②	2号斜井	1+281m	113.233
③	6号斜井	4+618m	110.402
④	9号斜井	7+109m	108.216
⑤	15号斜井	10+316m	105.461
⑥	出口	11+400m	104.820

观测段编号	段长/m	底高差/m	弯道情况
1	1291	1.087	顺直
2	3337	2.831	桩号3+346m有弯道B, 桩号4+275m有弯道C
3	2491	2.186	桩号5+338m有弯道D
4	3207	2.755	顺直
5	1084	0.641	桩号10+524m有弯道E

注:断面①—②为观测段1,②—③为观测段2,③—④为观测段3,④—⑤为观测段4,⑤—⑥为观测段5。

表2 第一次实测各级流量下各观测段糙率 n

观测段	糙率 n			段平均糙率 \bar{n}
	流量级次(1) $Q = 62.35 \text{ m}^3/\text{s}$	流量级次(2) $Q = 48.13 \text{ m}^3/\text{s}$	流量级次(3) $Q = 38.45 \text{ m}^3/\text{s}$	
1	0.0120	0.0122	0.0122	0.0121
2	0.0119	0.0121	0.0122	0.0121
3	0.0118	0.0120	0.0120	0.0119
4	0.0123	0.0126	0.0128	0.0126
5	0.0115	0.0117	0.0119	0.0117
平均	0.0120	0.0122	0.0123	

3 引滦入津隧洞第二次糙率观测情况

3.1 背景情况

为了观测引滦入津隧洞的糙率在第一次观测之后经过15年运行的变化情况,对原设计取值时所考虑到的运行年限问题作出评价,相关部门进行了第二次糙率原型观测。观测表明,隧洞经过15年运行后,从总体上看,洞体稳定,进、出口明渠及扩散段的流态正常,洞外山岩和外水压力无明显变化,说明洞

内钢筋混凝土衬砌经受住了考验.但在一些局部洞段边墙、顶拱及底板表面出现裂缝.受外水压力作用,有线流状或滴流状渗流,使局部混凝土溶蚀,有碳酸钙析出沉积.

1995年1月14~18日,隧洞处工程科进洞检查,发现底板裂缝124条,总长度2715m,其中最长的裂缝234m;冲坑5处;麻面83处,总面积368.1m²;底板上鼓3处;边墙和顶拱裂缝994条,裂缝总长度达5459.4m.存在上述问题的洞段总长4080m,占隧洞全长的1/3左右.

“九五”期间,隧洞处在已完成底板维修加固试验段(即最差的第4观测段,桩号8+600m~8+650m)50m的基础上,对上述发现的工程问题进行了全面认真的处理.至1999年底,隧洞底板维修加固的总长已达7000m,约占隧洞总长的2/3;边墙、顶拱裂缝及蜂窝、麻面表面处理洞长度已达3500m,约占隧洞总长度的1/3.也就是说,整条隧洞从进口到出口,对发现的工程问题都进行了必要的维修加固处理.特别是隧洞底板的外观质量有了显著的改善.但在边墙裂缝处理时却留下了明显的“补疤”,一般突出墙面1~2cm,增加了边墙糙度.此外,在1992年,为了维修隧洞的工程车进洞方便,在隧洞进口明渠左岸开挖了一条进车廊道,并在渠壁上开凿了一扇4m×4m的侧门洞,洞口未装门扉.该侧门洞口恰好位于现在隧洞进口测流断面的下游约10m处,阻水明显.

3.2 观测断面布置

为便于与第一次糙率观测成果对比分析,第二次糙率观测(2000年3月2~4日)断面布置基本上沿用第一次的布置,只是隧洞进口因开挖进车廊道侧门洞,将测流断面上移了20m,水位观测断面位置相应上移.

隧洞沿线仍利用2号、6号、9号、15号斜井,布置4个水位观测断面,并利用15年前在各斜井内布设的水位测量基准线(本次放水前复测其高程仍正确无误)量测各斜井处的水位.所以,有关的数据资料仍如表1所示,只是将观测断面①的桩号,由0-010m改为0-030m,底板高程由114.32m改为114.33m,观测段1的段长由1291m改为1311m,底高差由1.087m改为1.088m.

3.3 观测及计算成果

3.3.1 水位、流量观测成果

第二次糙率观测共施测了4级流量(见表3),测流位置位于隧洞进口处.流量施测方法仍采用水文流速仪5线3点精测法.在每级流量稳定测流过程中,及时沿洞线进入各号斜井内测读水位.各观测

断面的实测水深成果见表4.

表3 2000年3月第二次实测各级流量成果

流量级次	测流时间	断面水深/ m	平均流速/ (m·s ⁻¹)	实测流量/ (m ³ ·s ⁻¹)
(1)	3日15:45~16:45	3.74	3.22	68.6
(2)	3日12:50~13:46	3.56	3.19	64.7
(3)	4日15:00~15:50	3.23	3.11	57.1
(4)	2日13:05~13:50	1.62	2.42	22.3

表4 第二次实测断面水深成果

流量级次	各观测断面水深						平均水深
	①	②	③	④	⑤	⑥	
(1)	3.75	3.80	3.69	3.71	4.00	3.82	3.80
(2)	3.58	3.63	3.53	3.53	3.86	3.67	3.63
(3)	3.24	3.26	3.16	3.14	3.48	3.37	3.28
(4)	1.64	1.63	1.55	1.49	1.82	1.95	1.68

3.3.2 糙率计算成果

a. 计算公式:

$$\text{谢才公式} \quad v = C \sqrt{RJ} \quad (1)$$

$$\text{曼宁公式} \quad C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (2)$$

将(1)(2)两式合并得

$$n = \frac{1}{v} R^{2/3} J^{1/2} \quad (3)$$

式中: v 为观测段平均流速,m/s; R 为水力半径,取观测段首、尾断面的平均值,m; J 为观测段能坡, $J = h_f/L$, h_f 为观测段沿程水头损失(即能头差), L 为观测段长度.

b. 实测成果.利用实测的各级流量、水深资料,根据公式(3)计算得各观测段糙率 n 见表5.

表5 第二次实测各级流量下各观测段糙率 n

观测段	糙率 n				段平均糙率 \bar{n}
	流量级次(1)	流量级次(2)	流量级次(3)	流量级次(4)	
1	0.0123	0.0123	0.0123	0.0124	0.0123
2	0.0127	0.0127	0.0124	0.0121	0.0125
3	0.0125	0.0125	0.0122	0.0115	0.0122
4	0.0125	0.0125	0.0123	0.0121	0.0124
5	0.0121	0.0123	0.0119	0.0117	0.0120
平均	0.0125	0.0125	0.0123	0.0120	

3.4 成果分析

比较表2和表5两次糙率原型观测成果,可知:

a. 1985年所测流量范围为38.45~62.35m³/s,3级流量的变幅为23.9m³/s;水深变化范围为2.449~3.393m,变幅为0.944m.2000年所测4级流量范围为22.3~68.6m³/s,变幅为46.3m³/s,比1985年所测的增大了近一倍;水深1.68~3.80m,变幅为2.12m.据此反算出的糙率成果,将更具有代表性.

b. 比较各观测段的平均糙率值,除第4段的糙率由0.0126降为0.0124之外,其余各段的 n 值均

略有增大,但最大值均未超过 0.0125。

c. 1985 年实测全洞不同流量级糙率平均值(表 2)随流量增大略有减小(由 0.0123 减小到 0.0120)。笔者曾据此分析,底板部分的糙率若取为 0.014,边墙部分的糙率则为 0.0105。然而 2000 年的观测结果(表 5)则正好与此变化相反,即糙率随流量增大而略有增大,由 0.0120 增大到 0.0125。究其原因,是由于十几年来管理者对隧洞底板 2/3 长度内的冲坑、麻面和裂缝上鼓等进行了修补,使底板糙率相对降低,而边墙裂缝处理后却遗留下了“补疤”突出约 1~2 cm,加之隧洞进口侧门洞局部阻水干扰影响,致使大流量时的糙率略增大到 0.0125^[3]。

总而言之,引滦入津隧洞的两次糙率原型观测成果表明,平顺而光滑的钢模板浇筑良好的混凝土壁面糙率可以达到 $n = 0.011$ 。就该隧洞而言,考虑个别局部阻力加糙和各段粗糙度情况的差异,选取综合糙率 $n = 0.013$ 是完全可行的。云南以礼河二级电站尾水道原型观测成果^[4]建议对底坡、边壁顺直,采用钢模且拼接良好者,糙率可取 0.012~0.013。澜沧江大朝山水电站导流洞混凝土衬砌原型观测成果 $n = 0.012$,碧口电站溢洪道混凝土衬砌原型观测成果 $n = 0.0116$ ^①。

引滦入津隧洞运行 15 年之后,糙率系数略有变化,但基本上没有增大。云南以礼河二级电站尾水道(长 4.4 km)降糙处理后,已运行 30 余年,亦未发现异常情况。以上事实表明,在进行混凝土衬砌输水隧洞或明渠的水力设计时,随运行时间加长糙率会加大的疑虑可以消除。当然,加强输水工程的维修管理,对于保证其输水能力是非常重要的。

4 结 语

目前,国内设计混凝土衬砌糙率多采用 0.014 或 0.015。这显然与当前已能做到的迎流面施工质量水平不符。假如本工程设计采用糙率 $n = 0.013$ (原设计 $n = 0.015$),则隧洞断面的宽度可由 5.7 m 缩窄到 5.2 m。再如,大朝山电站导流隧洞(长 688 m,原设计 0.015),若设计糙率取 0.012,则施工期上游碾压混凝土拱围堰的高度可降低 8 m 左右。

糙率的取值是水力计算中的一个常规问题,但对于大而长的输水工程,如以百公里计的调水工程,乃至以千公里计的“南水北调”工程,糙率的取值就非同一般。因此,逐步积累糙率的原型观测成果资料,适时修订现行的水力糙率系数建议表,具有十分重要的实际意义。

参考文献:

- [1]董槐三,陈耀忠.引滦入津隧洞糙率的原型观测[J].水力发电,1987(3):46—52.
- [2]陈耀忠,董槐三.引滦工程锚喷隧洞糙率原型观测综述[J].水利工程技术,1991(1):18—23.
- [3]陈耀忠.引滦入津隧洞糙率第二次原型观测结束[J].水利水电科技进展,2000,20(3):14.
- [4]董槐三,潘永贤,陈耀忠.几种衬砌渠道糙率的原型观测[J].水力发电,1981(12):39—43.

(收稿日期 2004-04-01 编辑 高建群)

(上接第 28 页)

a. 通过过程线和相关性分析,长江水位随潮水位的急剧变化对堤防内的测孔观测水位无显著影响,长江水位与大堤内水位相关性比较小。

b. 长江潮水位对堤防内的渗流场略有影响,对临水坡处影响较明显,对堤防中、后部没有影响。

c. 在高水位范围内南通市防汛堤身渗透基本不受外江水位变化影响,这与潮汐性河段特性相一致,因而南通市堤防防渗问题可按潮汐河段挡潮堤来考虑。

根据观测资料的分析结果,提出以下建议:①鉴于潮水位对堤防的渗流状态影响不大,在大堤后无明显出现渗水的情况下,可不进行防渗处理。②继续加强薄弱堤段的观测,观测其在大潮时段的渗流变化,如果变化明显,可考虑进行防渗处理。

参考文献:

- [1]钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算[M].第 2 版.北京:中国水利水电出版社,1996.
- [2]毛昶熙,段祥宝,李祖贻,等.渗流数值计算与程序应用[M].南京:河海大学出版社,1999.
- [3]徐卫军,李刚.长江堤防防渗墙对堤内地下水位的影响分析[J].长江科学院院报,2003,20(5):51—54.
- [4]赵坚,张祝添,速宝玉.用于闸基防渗深层搅拌桩墙的渗透特性[J].河海大学学报(自然科学版),2001,39(2):54—58.
- [5]石军林.劈裂灌浆技术在水中倒土坝防渗处理中的应用[J].水利水电科技进展,2002,22(2):48—49.
- [6]刘维周,张振永,季生.复合土工膜在滨州黄河堤防防渗加固中的应用[J].水利水电科技进展,2002,22(5):53—54.

(收稿日期 2004-05-18 编辑 高建群)

①韩立.大直径混凝土隧洞的糙率问题.云南水电技术,2000(4):64—68.