

隧道的历史及发展

王毅才

内 容 提 要

本文主要介绍隧道的历史及发展概况。这里所指隧道是用作通过行人、汽车及火车的地下或水下通道。文章内容包括三部分：(1)古代隧道；(2)近代隧道的发展；(3)近代公路隧道工程。

隧道通常指用作地下通道的工程建筑物。按其修筑地点的不同，可分为山岭隧道、水底隧道及城市隧道；按用途分有交通隧道、水工隧道、市政工程隧道等；还有供人们生活和工作的隧道，如防空掩蔽部、地下工厂、地下住宅、公共活动场所等。

人类很早就知道利用自然洞穴作为住处。当社会发展到能制造挖掘工具时，就出现了人工挖掘的隧道，准确的年代是无从查考的。

本文主要是从历史记载和现代文献中搜集一些资料，谈谈隧道的历史和发展概况。

一 古代的隧道

我国最早有文字记载的地下人工建筑物出现在东周初期（约公元前七百年）。《左传》中记述了一段很有名的“……闕（同掘）地及泉，隧而相见……”的历史故事（注1、2）就是佐证。大意是郑庄公之母姜氏纵容郑庄公之弟段反叛，夺权未遂，段自刎，庄公对母亲的做法非生气，一怒之下将其母遣送颍（天河南临颍县西北）城并发誓说：【不及黄泉，无相见也！】，后来庄公又想念母亲，很后悔。有个为人正直的小官叫颍考叔的，想出一个体面的办法，即保证庄公不自食其言，又能见到母亲。便掘地深十余丈，泉水涌出，在泉侧架木为室，象征黄泉。母子终于在“黄泉相见”，庄公赋曰：【大隧之中，其乐也融融。】接着就迎母回宫。从记载上分析，这是个木结构的地下建筑料，而且造得不错。

我国最早用于交通的隧道，据考证要数古褒斜（注3）道上的“石门”隧道。石门隧道在今陕西省汉中县褒谷口内鸡头关下，建成于东汉明帝永平九年（公元66年）（注4），是修筑在石灰岩地层中的，整体性好，无衬砌。用什么方法开凿的呢？据《褒斜古集略》记载，梁清宽和贾汉复《栈道歌》中有“积薪一炬石为坼（坼Chè裂开的意思），锤凿即如加削腐”的诗句，意为用火烧裂石头，然后以锤击落。古时挖掘岩石的方法大约有火烧、水（或醋）激、锤击等。火焚水淬是我国历史上经常采用的一种方法，这种方法早在秦昭王时蜀守李冰在四川大修水利就采用过（水经注：江水）。石门隧道是残留至今的宝贵古建筑，可惜1969年修水库时已被淹没，仅将其部分摩崖石刻迁至汉中博物馆内。

我国历代皇帝陵墓和陪葬墓许多都是以地下工程形式构筑的，例如举世闻名的秦始皇陵

陪葬兵马俑坑就是其中的一个。是用明挖法建成的。总长度约为2.5公里,横断面约为3.7米(高)×3.2米(宽),使用了间隔约为1米的木质半框架式结构,无腰撑,横梁上部背材为大园木与席,立柱背后无背材。帝王陵墓的建筑集当时地下工程之精萃,是地下工程技术的宝贵遗产。由商代至清代的漫长年代里,修建了为数甚多的陵墓和墓道,值得专门研究。

在古老的石窟艺术中,建造了大量的隧道,譬如最引人入胜的敦煌、龙门、云岗石窟等隧道建筑成就都达到了很高的水平。

“坎儿井”是远古水利隧道流传至今的代表,它是地下人工水渠。我国西北,华北均有分布。其构造是从水源挖掘水平坑道,把水引导到地表,用来灌溉农田。

在其它古代文明地区有很多著名的古隧道,如公元前2189到2160年前后,在古巴比伦城幼发拉底河下修筑的人行隧道,是迄今已知的最早用于交通的隧道^(注5)。该隧道长约900米,其中180米是在河底穿过的,断面为高4.5米宽3.6米,用砖衬砌。它是为连接有名的古代巴比伦的赛米拉米斯时代的王宫和丘辟特寺院而修建的。施工是在乾季将河流改道后明挖的。古代最大的隧道建筑可能是拿不勒斯与普佐利之间的长1500米、宽8米、平均高9米的婆西里勃道路隧道,完成于公元前36年,直到现在还使用着。它是在凝灰岩中凿成的,边墙垂直、无衬砌。这个隧道的施工技术和构造的构思颇能引起人们的兴趣,它使用了测量方法,用张紧绳索及悬锤来定向,并在旁侧创造性的采用了密布的竖井通风。隧道中部的高度是7米,但向两个入口处逐渐增加到25米,目的是要使白天的光线能尽量透入。竖井通风是今天隧道通风的重要手段之一,喇叭形式的入口今天仍被用来进行洞外接近洞口段的光过渡建筑,使洞内外的减光率符合人的视觉适应能力。

为免去衬砌,多数古隧道都是修建在坚硬的岩层中。在火药出现之前,开挖隧道的主要手段是用锤、钎、楔等原始工具。在埃及曾使用过周围放置磨料的空心銑铁钻开凿软岩,后来人们知道利用岩石的物理特性,像前面提到过的把岩石灼热,然后骤然以水或醋喷射,即所谓“淬火”法剥裂岩石,使岩石易于开挖。

二 近代隧道发展的概况

约于公元七世纪,我国隋末唐初时的孙思邈在《丹经》一书中记载了黑火药的制法。公元1225年以后,我国的火药和火器的制法传入伊斯兰数国家,十三世纪后期才传到欧州。1627年奥地利的工业家首先用于开矿生产,1666年法国开凿兰葵达克运河隧道时使用了火药,它可能是最早用火药开凿的公用隧道。1866年瑞典人诺贝尔发明了胶质黄色炸药达纳马特,原是硝化甘油(发明于1846年),液体状怕热怕震。诺贝尔在一次偶然的机会中发现马车夫用硅藻土吸附液体后能使其变得安定,终于制成比较安定的炸药。后来用这种威力很大的黄色炸药取代了黑色火药,为开凿坚硬岩石提供了条件,广泛用于隧道工程。

1830年前后,铁路成为一种新的运输手段,对隧道的需要激增,促进了隧道工程技术的发展。1851年发明了凿岩机,从此开始了所谓近代施工方法,修建了大量的隧道工程。1818年英国人初次建立盾构专利,但1823年在施工中受挫失败。1865年贝尔劳成功地制成了生铁质的园形盾构。真正实用的盾构是1866年由杰姆斯创造的,他装配了内径3.75米的隧道衬砌盾构机,并承担了伦敦的铁道建设。1852年美国在马萨诸塞州的胡萨克隧道首次进行了隧道掘

进机试验,但试验失败了。其后1881~1883年英国巴门制造了直径2.1米的隧道掘进机,在多佛尔海峡海底法国侧1700米和英国侧300米的掘进中获得成功。

三 现代道路隧道工程

在隧道内通行汽车是本世纪才开始的。本世纪头几十年里,汽车技术的发展突飞猛进,汽车数量与日俱增,车速逐渐提高。相应地要求道路采用平直线形,以缩短里程,提高运输效益,道路隧道的数量随之增多。不仅山岭、丘陵地区如此,在城市也因为交通阻滞和占用地面问题而要求增加地下通道,即城市隧道,为了穿越港湾河川则需要水底隧道。

1927年美国在纽约哈德逊河底修建了厚兰德隧道,在这条隧道中解决了现代隧道建设中出现的一些问题,尤其是通风问题。该隧道是两条平行的单向隧道,用盾构法施工的,长度分别为2608米和2551米,车道宽度6.1米。由于隧道较长,交通量较大(每条隧道每小时有1000台车辆,其中5吨卡车占80%,以16公里/小时的速度通过),不得不考虑机械通风。最初是1919年由厚兰德氏着手设计的,他中途去世之后由辛斯达德氏继续进行下去,并于1927年完成了。1919~1920年,在厚兰德氏的指导下首次对美国汽车排出的CO量进行了彻底的调查研究。当时以美国矿山局为主并得到大学和研究所的协助,对小轿车和不同吨位的卡车在不同的道路坡度、不同的车速,以及发动机空转和负荷等不同情况加以区分整理得到结果。另外,对于危害人体的一氧化碳浓度容许值也进行了研究,同时还研究了汽车的排烟问题。在考虑了这许多问题之后,该隧道恰如其分地采用了横流式通风。后来,厚兰德隧道于1949年发生过一次大火灾,虽然燃毁了一些车辆,死伤了一些人,但由于通风采用横流式,所以火势沿纵向蔓延不是很大,如果采用纵流或半横流式通风,则情况将严重得多。所以在长大隧道中横流式通风不但是有效的,而且具有一定的抗灾能力。

从此以后,机械通风方式逐渐得到广泛应用。特别是本世纪五十年代以后修建的长大道路隧道(长度2公里以上)和著名水底隧道(长度0.5~2公里)都安装了机械通风设备,通风方式有横流式、半横流式、纵流式以及射流式等(参见附表一、二)。

交通量的增加、行车速度的提高,给隧道带来除通风之外的另一个问题,那就是照明。在车速较低交通量不大时,这个问题并不突出,当车速较高、交通量较大时就变成不能忽视的问题。事实证明,仅仅依靠车前灯照明并不能满足安全行车的需要。从通风角度看长隧道是困难的;从照明角度看短隧道反而难以处理。另外,由于人的眼睛对亮度的突然强烈变化不能立即适应,所以照明问题不但要在隧道内部考虑,并且要从接近洞口的一定范围内就加以考虑。像著名的荷兰阿姆斯特丹航空港的Schiphol隧道,法国的Orley航空港隧道,日本的粟子隧道等都以相当高的造价在洞口部分修建了减光棚。

为了保证在长大隧道内的交通安全,还要安装交通管理设备、防噪声设备、CO检测器等。在重要的长大隧道中还要安装应急设备,如急用电话、警报器、备用电源、灭火设备、火灾传感设备、避难引导设备及电视监视机等,并设置中央控制指挥室。不过这些复杂的设施需要昂贵的投资,只有极重要的隧道,才可能装设。像加拿大1967年修建的蒙特利尔圣劳伦斯河底隧道,长1390米,为单向3车道双管隧道,交通繁忙,装设了相当复杂完善的控制指挥系统和附属设施。

现代隧道的施工方法和施工技术,由于大量的使用施工机械,减轻了人的体力劳动,提

世界长大道路隧道

编号	隧道名称	所在地
1	Mont Blanc	法·意(Chamonix~Courmayeur)
2	惠那山	日本,中央道(饭田~中津川)
3	SanBernadino	瑞士(Coire~Bellinzoena)
4	Grand St.Bernard	瑞士,意大利(Bourg St.Pierre~St.Rhemy)
5	Viella	西班牙,比利那山脉(Aran Viella
6*	Mersey	英·Mersey (Liverpool 河底 (~Birkenhead)
7*	关门	日本,关门海峡底(下关~门司)
8	Tenda Pass	法·意(Col de Tenda)
9	Belchen	瑞士(Basel~Hagendorf)
10	Sasago	日本Sasago-toge(甲府~大月)
11	Guadarrama	西班牙(Madrig~Coruna)
12	六甲山	日本(神戸市)
13	新御坂	日本(甲府~河口湖)
14*	Brooklyn Battery	美,East河底(纽约)
15	西栗子	日本(福岛~米泽)
16*	E3—Elbe	西德,易北河底(汉堡市)
17*	Holland	美Hudson河底(纽约)
18	Bainhal	印度(克什米尔)
19	仙人	日本(岩手县)
20*	Lincoln	美Hudson河底(纽约)
21*	Parana	阿根廷Parana河底(圣非市)
22*	Batlimore Harbor	美Pataasco河底(巴尔的摩市)
23	Hampton Roads	美(Hampton~Norfolk)
24	千代田	日本,首都高速(东京)
25	日本坂	日本,东名道(静岡~烧津)

(延长2公里以上)

(注:•长底隧道)

附表一

延长(米)	车道宽度	交通方法	通风方式	建成年代
11600	7.0	对向2车道	不完全横流	1965
8500	7.5	"	横流	(予定1973)
6596	7.0	"	"	1966
5828	7.5	"	"	1964
5043	5.5	"	射流式	
正线 3226	11.0	对向4车道	竖井送排风	1934
支线(2条)980	5.8	" 2 "	半横流	(矿山法)
3461	7.5	对向2车道	横流	1958 (矿山法)
3186	6.25	"	射流式	1882
3180×2	7.25	单向2车道 (2条)	横流	1967
2953	6.5	对向2车道	半横流	1958
2867	9.0	"	"	1963
2843	6.5	"	"	1967
2773	6.5	"	"	1967
2780×2	6.5	单向2车道 (2条)	横流	1950 (盾构法)
2675	6.5	对向2车道	半横流	1966
2658	7.5	单向2车道 (3条)	横流	(予定1973) (沉管法,盾构法)
2608	6.1	单向2车道 (2条)	"	1927 (盾构法)
2577	3.2	单向单车道 (2条)	射流式	1958
2400	5.5	对向2车道	自然	1959
2528	6.55	单向2车道 (3条)	横流	1937 1945 1957(盾构法)
2505	6.55			
2255	6.55			
2440	7.5	对向2车道	"	1969(沉管法)
2397	6.7	单向2车道 (2条)	"	1957 (沉管法)
2333	7.0	对向2车道	"	1957 (沉管法)
2280	6.5	单向2车道 (2条)	"	1963
2189	8.7	单向2车道 (2条)	半横流	1968
2042				
1995				

著名的水底道路隧道

编号	隧道名称	所在地	水路名称	延长 (米)
1	Queens Midfown	美国 纽约	伊斯特河	1955 1912
2	Anvers Schelde(Imalso)	比利时 安特卫普	些耳德河	1768
3	Thimbls Shoal	美国 诺福克	切萨比克湾	1750
4	Sumnerc	美国 波士顿	东波士顿港	1718
5	Tyne	英国 纽卡斯尔	泰恩河	1670
6	Baltimore Channel	美国 诺福克	切萨比克湾	1661
7	香港	香港—九龙	洪昆港	1600
8	Detroit—Windsor	美国、加拿大(底特律)	德特罗特河	1565
9	Callaban	美国 波士顿	东波士顿港	1550
10	Rotherhithe	英国 伦敦	泰晤士河	1470
11	Dartford	英国 伦敦	泰晤士河	1430
12	Lafontaine	加拿大 蒙特利尔	圣劳伦斯河	1390
13	Isf Blackwall	英国 伦敦	泰晤士河	1358
14	2nd Elizabeth River	美国 诺福克	诺福克—朴茨芳斯	1281
15	东京港	日本 东京	东京港	1235
16	2nd Blackwall	英国 伦敦	泰晤士河	1100
17	Posey	美国 奥克兰	圣弗兰西斯科湾	1081
18	Maas	荷兰 鹿特丹	马斯河	1070
19	IJ	荷兰 阿姆斯特丹	阿伊河	1039
20	Bankhead	美国 毛必尔	毛必尔河	1030
21	Isf Elizabeth River	美国 诺福克	诺福克—朴茨芳斯	1021
22	衣浦	日本 爱知县	衣浦港	1019
23	Websfer Sfreef	美国 奥克兰	圣弗兰西斯科湾	1018
24	Bayfown	美国 培顿	培顿—兰堡特	917
25	Washburn	美国 休斯敦	巴萨德纳河	896
26	Benelux	荷兰 鹿特丹	马斯河	795
27	Velnse	荷兰 阿姆斯特丹	北海运河	768
28	Clyde	英国 格拉斯哥	克莱德河	762 754
29	Habana	古巴	哈瓦那港	735
30	J.F.kenedg(E3-Schelde)	比利时 安特卫普	些耳德河	690
31	Deas Island	加拿大 温哥华	弗雷塞河	660
32	Rendsburg	西德 林兹普尔格	基尔运河	640
33	Heinenoord	荷兰 鹿特丹	马斯河	614
34	Marseiue	法国 马赛	马赛港	597 597
35	Coen	荷兰 阿姆斯特丹	北海运河	587
36	Limfjord	丹麦 奥尔堡	利姆德	582

(0.5~2公里)

附表二

车道宽度(米)	交 通 方 法	通风方式	施 工 方 法	使用年代
6.4	单向2车道(2条)	横流	盾构法	1940
6.4		"	"	1933
6.75	对向2车道	"	沉管法	1963
7.3	对向2车道	"	盾构法	1934
6.55	单向2车道	"	"	1967
7.3	对向2车道	"	沉管法	1963
7.3	对向2车道	"	沉管法	1963
7.5×2	单向2车道(双管)	半横流	"	(1973)
6.7	对向2车道	横流	"	1930
6.55	单向2车道	"	盾构法	1961
4.88	对向2车道	半横流	"	1908
6.3	对向2车道	"	"	1962
11.6×2	单向3车道(双管)	"	沉管法	1967
4.88	单向2车道	"	盾构法	1897
6.7	对向2车道	横流	沉管法	1962
11.0×2	单向3车道(双管)	半横流	"	(1974)
6.1	单向2车道	"	盾构法	1965
7.0	单向2车道	横流	沉管法	1928
6.0×2	单向2车道(双管)	"	"	1941
7.0×2	单向2车道(双管)	"	"	1968
6.4	对向2车道	半横流	"	1941
6.7	对向2车道	"	"	1952
7.0	对向2车道	横流	"	(1973)
7.3	单向2车道	"	"	1963
6.7	对向2车道	半横流	"	1953
6.7	对向2车道	半横流	沉埋法	1950
7.25×2	单向2车道(双管)	纵流	"	1967
7.1×2	单向2车道(双管)	横流	明挖法	1957
6.7	单向2车道(2条)	"	盾构法	1963
6.7				
7.2×2	单向2车道(双管)	半横流	沉管法	1958
12.25×2	单向3车道,同时设置复线铁路	纵流	"	1969
7.3×2	单向2车道(双管)	半横流	"	1959
6.8×2	单向2车道(双管)	纵流	沉管法,明挖法	1961
11.15×2	单向3车道(双管)	"	沉管法	1969
7.0	单向2车道(2条)	半横流	"	1969
7.0	单向2车道(2条)	半横流	"	1965
7.25×2	单向2车道(双管)	纵流	"	1965
10.5×2	单向3车道(双管)	"	"	1969

高了安全性,使工程质量得到保证。在松软地层中广泛使用了盾构,在盾构技术上,目前日本处于领先的地位。在中等坚硬的地层中,隧道掘进机被越来越广泛地应用,美国生产的罗宾斯11号机直径已达到11.2米。在坚硬地层中大量的使用了钻孔台车。

1948年奥地利学者L·V·Rabcewicz提出修建隧道的新方法,简称为新奥法。它是以喷射混凝土,锚杆作为主要支护手段的一种施工方法,得到极迅速的发展。广泛用于各种地下工程,几乎成为在软弱地层或不良地质条件下修建隧道的一种基本方法。

今天,日本这个多山国家已成为世界上隧道工程最发达的国家之一,仅1980年就修建了大小隧道总长1400多公里,而英国1979~1980年只修建了约50公里,美国只开凿了约250公里(注7)。目前各先进国家道路隧道约占高速公路里程的百分之五,工程费用约占百分之十至十五。

我国也是多山国家,目前已建铁路隧道总长约1800多公里,公路隧道总长约40公里。我国公路隧道工程的发展速度与公路运输发展的要求相比差距很大。现在应该很快改变在教第和科研方面对隧道工程技术不够重视的情况。

注1. 见《左传选》(第3页):[遂置姜氏于城颖,而誓之曰:“不及黄泉,无相见也!”既而悔之。颖考叔为颖谷封人闻之,有献于公,公赐之食。食舍肉,公问之。对曰:“小人有母,皆赏小人之食矣,未赏君之羹,请以遗之。”公曰:“尔有母遗,唯我独无!”颖考叔曰:“敢问何谓也?”公语之故且告之悔。对曰:“君何患焉,若阙地及泉,隧而相见,其谁曰不然!”公从之。公入而赋:“大隧之中,其乐也融融。”姜出而赋:“大隧之外,其乐也泄泄。”遂为母之如初。]

2. 参见《东周列国志》(第四回):[……“掘地见泉,建一地室,先迎姜夫人在内居住。告以主公想念之情,料夫人念子,不减主公之念母。主公在地室相见,於及泉之誓,未赏违也。”庄公大喜,遂命考叔发壮士五百人,于曲洧牛脾山下,掘地深十余丈,泉水涌出,因于泉侧架木为室。室成,设下长梯一座,考叔往见武姜,……]

3. 古褒斜道:为古代道路,自汉中县褒谷口至眉县斜峪关(均在今陕西省境内),在褒谷南端距谷口五里即为“石门”,“石门”在鸡头关下。

见《考古与文物》.1980.4期,《石门颂》小考一文。

5. 见大不列颠百科全书15版18卷第750页。

6. 见《最新隧道施工手册》第八章8.1.8节

7. 见英国《土木工程》1981年2月号(Tunnelling: Japan fakes the Leah)

The History and Development of tunnel

Wang Yizai

Absfract

This paper mainly introduces the history and development of tunnel, which is defined as an underground or underwater passageway for pedestrian, molor traffic, railroad; efe. Thecontent of this paper consists of fhree parts;

- (1)Ancient tunnels;
- (2)the development of modern tunnels;
- (3)modern highway tunnelling.

www.cnki.net