

厄勒沉管隧道

Oresund Technical Publications—The Tunnel



原作者: NIELS J.GIMSING AND CLAUS IVERSEN

编译: 郭敬谊 韦良文

审稿: 白云 张金屏 [丹麦]



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

厄勒沉管隧道

Oresund Technical Publications-The Tunnel



原作者: NIELS J.GIMSING AND CLAUS IVERSEN

编译: 郭敬谊 韦良文

审稿: 白云 张金屏 [丹麦]



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书原著为《厄勒技术文件》之《隧道》，由丹麦厄勒海峡固定连线工程联合体出版。由于其设计施工的先进性和实用性，以及独特的管理方式，对我国沉管法隧道设计施工大有裨益。其技术在我国港珠澳桥隧工程建设中有所采用，并得以印证。故此，译者征得原作者同意，将其译为中文。

图书在版编目(CIP)数据

厄勒沉管隧道/(丹)尼尔斯·简·吉姆辛,(丹)克劳斯·依维尔森著;郭敬谊,韦良文编译.—北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.4
ISBN 978-7-114-15346-4

I. ①厄… II. ①尼… ②克… ③郭… ④韦…
III. ①沉管隧道—隧道工程 IV. ①U459.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第014526号

著作权合同登记号:图字01-2019-0530

书 名: 厄勒沉管隧道
编 译: 郭敬谊 韦良文
责任编辑: 刘永芬 钱悦良
责任校对: 刘 芹
责任印制: 张 凯
出版发行: 人民交通出版社股份有限公司
地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010)59757973
总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京虎彩文化传播有限公司
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 20.25
字 数: 468千
版 次: 2019年4月 第1版
印 次: 2019年4月 第1次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-15346-4
定 价: 80.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

序

盾构工法与沉管工法是地下工程的两种主要工法。盾构工法于1818年(由法国人 Brunel)在英国被提出。第一次使用盾构工法是1825年伦敦泰晤士河横穿隧道,历经16年,于1840年贯通。沉管工法首先以工程创意的形式于1876年(乔治·特拉特维恩)被提出并申请专利。第一条沉管隧道是1885年的悉尼湾隧道,但是国际工程界通常将1894年竣工的美国波士顿港隧道(Shirly Gut Syphone),和1910年完工的底特律河铁路隧道并称为沉管隧道的鼻祖。两种工法相比较,盾构工法主要依赖设备,随着工业化进程发展较快,应用也比较广泛。沉管工法比盾构工法晚了近100年,沉管工法需要的工程知识面很广,涉及海洋工程、结构工程、机械设备、疏浚工程、基础基坑、巨量的潜水作业、机电工程,以及防火防灾等一系列专业问题,技术复杂,高风险,发展很慢。100多年来世界范围内已建成的沉管隧道的数量可能总共不到200座。

厄勒沉管隧道建设于1993年至2000年,是一座连接丹麦的哥本哈根与瑞典的马尔默的公路、铁路两用隧道。它曾经是最长的跨海沉管隧道;在工厂化预制、全断面浇筑以及先铺碎石基床等方面的突破推动了沉管的技术进步;其管理模式、设计方案、技术创新至今都对欧洲交通工程建设有着深刻的影响。它是现代沉管技术的里程碑。2008年欧洲启动了长200km的丹麦到德国的沉管隧道——费蒙通道工程,2013年开始设计施工总承包招标。在招标文件中,业主鼓励投标人阅读有关厄勒海峡沉管隧道技术和管理方面的书,并希望将有益的经验吸收到投标文件中。在信息时代,社会、技术爆炸式发展的背景下,相隔13年费蒙通道业主仍然希望投标人借鉴厄勒海峡沉管工程经验,实在是耐人寻味。

港珠澳大桥沉管隧道长度超过6km,水深近50m,埋深超过20m,是当今世界最具挑战的沉管工程。我于2005年起参与该工程研究,2010年底开始组织该工程建设至今近11年后第一次读了这一本书,我理解了费蒙业主的用意,的确是十分值得参与大型工程建设各方一读的书。目前,我国在建以及规划中沉管隧道的数量正在逐年增长,但总体上,沉管隧道并非常见的工程,沉管隧道方面的专业性书籍很少,而以一个项目为例来讨论沉管隧道设计与施工的书更是少之又少。作者相信这本书可以为工程专业学生、专业人员及工程管理人员提

供有益的借鉴与参考。

重庆交通大学的郭敬谊副教授对沉管隧道的设计与工法有深刻的认知,在港珠澳大桥前期规划阶段,她曾作为专业翻译人员负责中国工程师与外籍专家间的技术讨论与文件交流;港珠澳沉管隧道过去五年的建设期间直至今日,她协助负责与许多国家交通行业慕名而来、希望参观的专家交流,由于工作需要她进入施工现场,体验沉管隧道的建设。因此,郭敬谊副教授是一位专业的工程翻译学学者,她对沉管隧道工程的理解不仅停留在文字中,而是扎根于她为工程项目技术交流与现场实地接触的切身体会中。她的译文,相信可以准确地传递原作者想要传递的信息。



2016年7月于珠海

中文版前言

厄勒海峡大桥(Oresund Strait Bridge,也称欧尔松大桥),连接哥本哈根和瑞典第三大城市马尔默,于1995年开始动工。该桥全长16km,由西侧的海底隧道、中间的人工岛和跨海大桥三部分组成。西侧的海底隧道长4050m,宽38.8m,高8.6m,位于海底10m以下,由五条管道组成。它们分别是两条火车道、两条双车道公路和一条疏散通道。它是当时世界上最宽的海底隧道。中间的人工岛长4055m,将两侧工程连在一起。东侧的跨海大桥长7845m,上为4车道高速公路,下为对开火车道,共有51座桥墩,中间是斜拉索桥,跨度490m,高度55m,是当时世界上承重量最大的斜拉桥。厄勒海峡大桥作为建筑界的里程碑项目,将桥梁、人工岛和海底隧道完美地结合在一起,启发了工程师们利用组合方案解决重难点工程的思路。

厄勒海峡沉管隧道技术资料翻译版本内容全面、专业、易学易懂,介绍了厄勒海峡沉管隧道构思、设计、施工、检测、项目管理等方面的先进理念和技术重难点;本译著有助于国内水下隧道工程的从业人员学习、掌握先进技术和管理理论,一定程度上解决了水下隧道工程缺少专业参考书的紧迫难题。

本译著共26章,由重庆交通大学外国语学院郭敬谊副教授(1~19章)、土木工程学院韦良文副教授(20~26章)共同完成。在全书编译过程中,两位译著者有幸获得了中交公路规划设计院隧道事业部工程师和专家,重庆交通大学土木工程学院、河海学院以及机电学院专家教授们提供的有关沉管隧道的技术支撑、咨询、校核和编辑,以确保本技术文件翻译的准确性,我们有理由认为这是一次成功的校企结合的产品。在此,对为本书编译提供技术咨询、校对和编辑工作的校企专家们表示衷心感谢。

中交公路规划设计院沉管隧道专家提供技术咨询和校核的人员:林巍(1~3章校对),张志刚(4~6章校对),黄清飞(7~9章校对),吕勇刚(10~11章校对),付佰勇(12~13章校对)。重庆交通大学机电与车辆工程学院董绍江教授(23章校对),重庆交通大学土木工程学院林娜副教授(25章校对);重庆交通大学土木工程硕士研究生田琳协助完成了本书的排版及图片编辑工作,在此表示感谢!

特别感谢以下专家和大师:

感谢张金屏教授协助将本书原著介绍到中国并获得本书的翻译和出版权。
感谢同济大学隧道专家白云教授、丹麦专家张金屏博士负责总审全书。

特别感谢中交集团总工程师林鸣在百忙之中对《厄勒沉管隧道》中文版翻译出版工作的支持和关心,并亲自为本书写了序言。

由于时间仓促和译者水平所限,书中对原著理解上难免有些不当之处,敬请读者批评指正。

郭敬谊 韦良文
2018年9月于重庆

前 言

在大型基础设施项目的设计和施工过程中,往往需要发挥创新性和想象力,因为所采用的很多程序并没有先例可循。再者,类似规模的基础设施项目的数量即使在世界范围内也是屈指可数的。因此,必须从地理位置条件下,其建设环境和商务条件各异的项目设计和施工活动中获取经验。

为了更好地将某个大型基础设施项目的相关经验应用到下一个项目中,业主应负责提供真实项目从开展设计到完工的全部资料,这一点非常重要。因为业主通常都很清楚他们的责任,并为参加国际会议做了大量准备工作,还发行了技术手册和专题论文,所以相关业内人士很幸运,能从中受益。

厄勒海峡大桥有如下独有的特征:

- ◆ 经修正的设计和施工理念,其中客户及其顾问预先确定了所有结构构件的整体形状和尺寸,体现了需求引导设计的理念;

- ◆ 首次大规模应用欧洲规范;

- ◆ 数千吨部件的预制和安装。

《厄勒技术文件》分为三卷(桥梁、隧道、疏浚及填海工程),这些技术文件作为厄勒海峡固定连线项目的施工依据,资料内容分别由与各项目直接关联的技术和管理人员编写,编写人员的名字在各篇章赫然可见。这些编写人分别代表各个项目的各个方面,包括业主、业主咨询专家和顾问、承包商及承包商顾问,以便能及时获得与项目设计和施工各方面相关的第一手资料。《厄勒技术文件》投稿人来自方方面面,这同样证明了在整个过程中各方员工能在工作关系上保持合作和友好的精神。

在编制《厄勒技术文件》的过程中,所有相关人员一致希望,他们能够为大型桥梁、沉管隧道和疏浚填海工程设计与施工技术的进一步发展做出贡献。

尼尔斯·简·吉姆辛
(NIELS J. GIMSING)

目 录

项目介绍	(1)
1 业主的组织和管理原则	(9)
2 隧道设计	(21)
3 营运期交通安全及防火措施	(33)
4 混凝土施工要求	(43)
5 隧道引道段的地下水控制	(57)
6 承包商对“设计-施工”理念的评估	(67)
7 施工方-设计方的团队合作——“设计-施工”成功的关键	(75)
8 浇筑场的研发及设计	(85)
9 液压千斤顶及支撑系统	(101)
10 沉管隧道的详细设计	(109)
11 混凝土工艺技术	(125)
12 隧道管节的施工	(142)
13 引道段锚固结构	(159)
14 洞口建筑物	(167)
15 隧道基槽开挖	(175)
16 隧道管节的碎石层基础	(193)
17 沉管浮运	(205)
18 隧道管节的沉放及最终接头	(213)
19 针对敏感的海上环境作业的海流预报	(221)
20 第 13 节隧道管节	(235)
21 机械通风系统	(247)
22 公路隧道纵向通风限制	(261)
23 隧道内机电工程及控制系统	(271)
24 平行作业	(287)
25 厄勒连接线的大地测量控制	(297)
26 事实与数据	(309)

项目介绍

WIM PS JANSSEN

总经理

隧道工程顾问

荷兰

特征

一条沉管混凝土隧道作为厄勒海峡大桥的一部分横穿了杜洛格敦(Drogden)航道。该隧道反映了混凝土沉管隧道半个世纪的发展史。它于20世纪末建成,其许多设计和施工特征充分体现了过去50年间沉管隧道技术所取得的长足发展。

历史

沉管隧道设计基本上遵循两种传统方法,即美式和欧式,其区别在于施工材料的选择:美国采用钢材,欧洲采用混凝土。在这些传统方法中,当地经济状况和具体项目条件也会影响材料的选择(钢材和混凝土)。

交通沉管隧道的建筑历史始于1910年,当时,在美国和加拿大之间的底特律河建造了一座水下双轨铁路隧道。随后,直到30年后才在美国范围之外修建沉管隧道。在此期间,美国工程师开发了一种特殊的钢壳技术,该技术即使在今天也未发生大的改变,仍然用于美国几乎所有的沉管隧道施工。在美国,仅出现了三座主要的混凝土隧道,最新的一座是位于波士顿的福特波恩特海底隧道(Fort Point Channel Tunnel)。



图 1 美国钢壳隧道(steel shell tunnel in the USA)

欧洲的第一座混凝土隧道是位于荷兰鹿特丹的马斯河隧道(Maas tunnel),于1937年到1942年间修建,它的修建标志着采用混凝土建造沉管隧道这一技术的开始。这种传统方法尤其集中应用于荷兰,即使现在,欧洲也未建造过钢铁沉管隧道。

沉管隧道技术的第三个重点发展区域在日本,其始于1944年在大阪建造的阿吉河横跨隧道。该隧道采用了美式单层钢壳。直到1969年,日本才开始建造混凝土隧道。从那时起,日本便采用两种方法建造钢铁和混凝土沉管隧道,但以钢铁沉管隧道居多,而最近建造的大阪南港隧道和神户港港岛隧道则是采用了复合钢-混结构。

杜洛格敦隧道(Drogden tunnel)完全采用了欧式混凝土构造,其四个特征使它与世界上其他混凝土隧道截然不同:

- ◆ 它是世界上最长的混凝土沉管隧道。

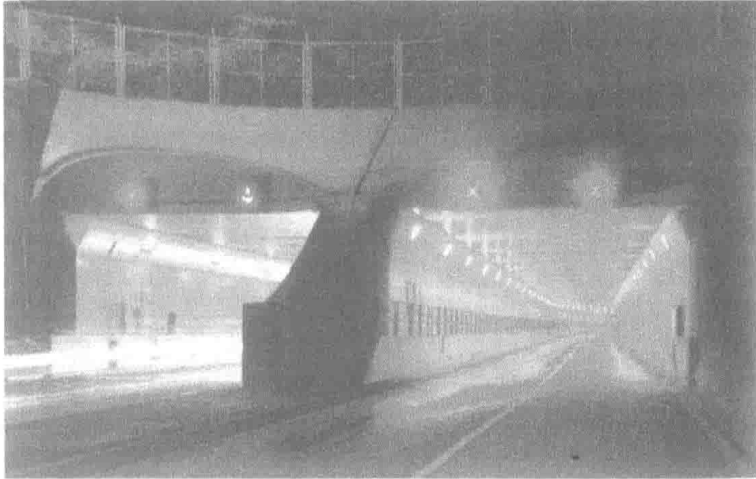


图2 鹿特丹马斯河隧道(Maastunnel in Rotterdam)

- ◆ 施工方法独一无二,首次采用工厂预制法生产沉管管节,采用制造业方式在陆域上加工,生产条件可受到严格控制。

- ◆ 无裂纹混凝土确保了水密性。这是通过连续浇筑整个横截面来实现的,没有留下任何施工缝。

- ◆ 首次采用碎石垫层作为如此大型沉管隧道的基础垫层。

世界最长隧道

在欧洲,沉管隧道主要作为横跨河流的公路隧道。这些横跨隧道通常相对较短,约500~600m;荷兰的隧道则为77m至1265m不等,如马格莉特公主隧道(Princess Margaret Tunnel)长度仅为77m,而阿姆斯特丹的海恩隧道(Heine Tunnel)则长达1265m。因此,沉管隧道通常为中等长度,杜洛格敦隧道(Drogden Tunnel)3510m的长度使它成为迄今为止世界上最长的混凝土沉管隧道。这并非取决于航道宽度,而是取决于环境要求。波罗的海环保要求“零排放”,加之对补偿开挖量的限制要求,因此只能通过修建3500m长的隧道来达到疏浚目的。

使用增压风机提供纵向通风对隧道的长度范围提出了更大的要求,因为在沉管隧道中,出于经济考虑,将间隙封层周围的额外空间大小降至绝对最低值。

最初,沉管公路隧道一直采用的是横向通风系统,需在隧道口提供额外的纵向通风管和建筑结构。马斯河隧道就设有此类横向通风系统,在隧道口修建了通风塔。纵向通风使新鲜空气从隧道口部进入,在整个隧道长度内推进,直至达到出口,该通风方式于1961年首次用于德国的伦伯格(Rengburg)隧道。

继科恩隧道(Cohen Tunnel)之后,纵向通风方式几乎已经成为荷兰公路隧道通风的标准形式,但在其他国家,却花了很长时间才接受纵向通风系统这种形式。在杜洛格敦隧道之前,阿姆斯特丹1265m长的科恩隧道是最长的纵向通风沉管隧道。在整个杜洛格敦隧道中,提供了一个用于启动纵向通风系统的装置,它可以有效控制交通流量,从而避免造成过度污染。

施工方法

杜洛格敦隧道的长度及其直立水平和渐进竖向定线使得按非传统方法生产管节成为了可能。在先前的荷兰项目中已经考虑过工业化施工方法,但事实证明,当它们用于短横跨隧道时并不具有竞争优势。在厄勒大桥之前,沉管隧道所用混凝土管节全部在浇筑场或干坞生产,或在露天和地下水位以下生产。

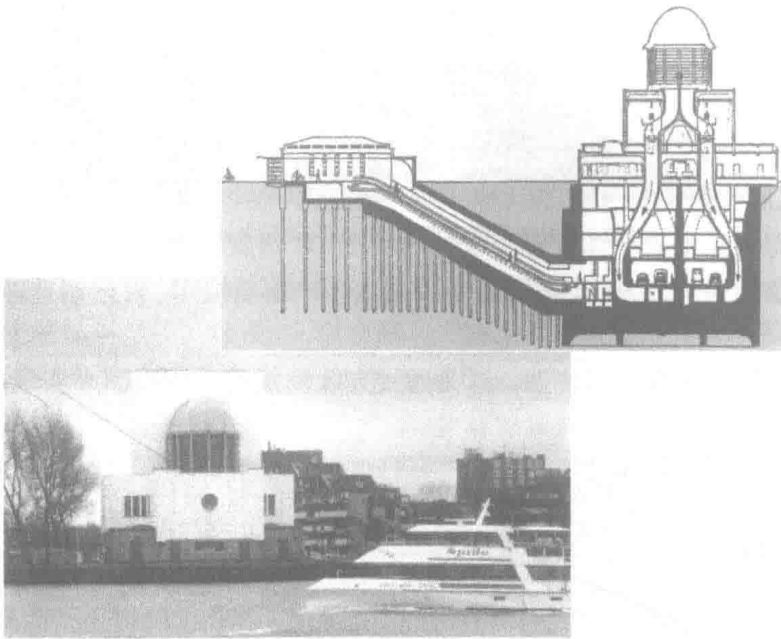


图3 马斯河隧道的横向通风(cross ventilation in the Maastunnel)

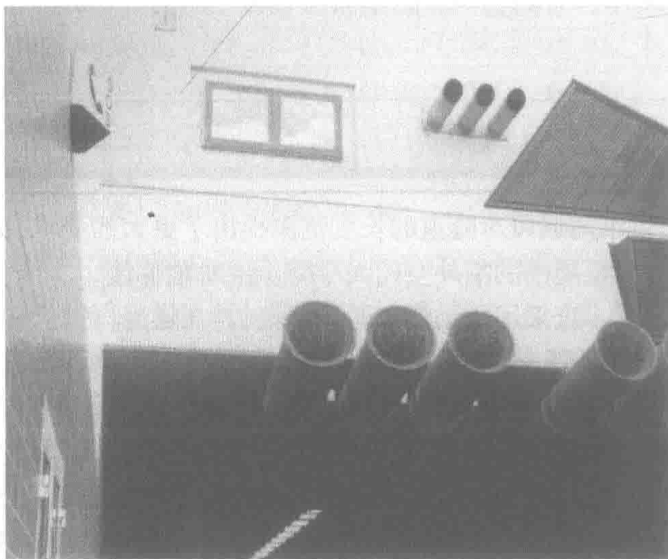


图4 纵向通风:隧道口增压风机(Longitudinal ventilation booster fans at portal)

在某些情况下,浇筑场的位置应远离施工现场,管节必须在外海上浮运足够长的距离:悉尼湾、纬科尔和海恩隧道的浮运距离分别为85km、70km和175km。只有小型的沉管电缆

槽和管道(如新加坡吉利戎海峡隧道)和横跨荷兰水道和欧德马斯河的服务设施隧道才采用工业化和重复的生产方法。在一些情况下,则在线路引道段生产管节,如玛格莉特公主隧道、阿夸达克特阿尔芬和塞伯杰隧道,均位于荷兰。

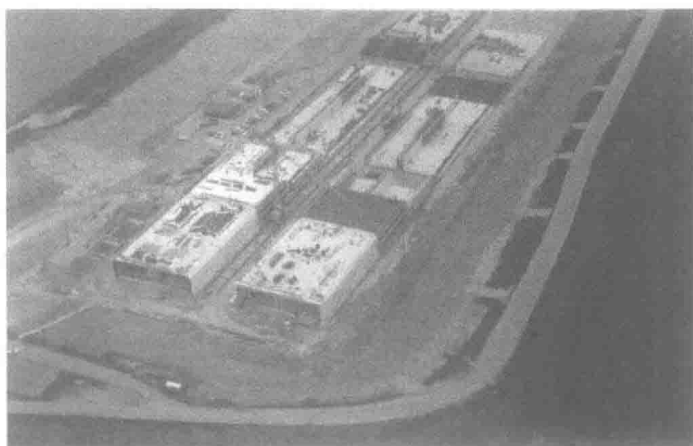


图5 浇注场中的维科尔隧道管节 (Elements of the Wijker tunnel in casting basin)



图6 当沉管浮运了70km之后,在外海上将穿过艾默伊登水闸的管节 (Element passing the locks of Ijmuiden after towing 70 km over open sea)



图7 阿夸达克特阿尔芬 (Aquaduct Alphen)

杜洛格敦隧道管节的施工方法是在地面生产车间进行的一种工业化工艺。其中,工厂控制气候条件保证了较高而稳定的产品质量。此方法为沉管隧道施工历史增添了新的一笔,预计在未来必要的时候仍会被采用。

水密性

所有沉管结构必须具有永久水密性。对于混凝土沉管隧道,可通过外部防水薄层或混凝土本身来确保其水密性。早期的混凝土隧道全部采用各种类型的防水薄层,但1975年荷兰建造的夫拉克(Vlake)隧道却没有采用外部防水层。它完全依靠混凝土本身的水密性,通过人工冷却避免水化开裂来实现混凝土的水密性,这种工艺的可行性得到实践验证。自1975年以后,该方法已经成功用于荷兰建造的所有沉管隧道。此后,比利时、德国和英国分别在埃姆斯(Emms)隧道(1989)、利夫肯肖克(Liefkenshoek)隧道(1991)和梅德韦(Medway)隧道(1996)中采用了这种方法。所有的隧道都采用了人工冷却的方式来防止水化开裂。对于横跨荷兰水道(1973)和欧德马斯(1975)的服务设施隧道,通过整体浇筑整个横截面,从而避免了新浇混凝土中产生水化应力。垂直浇筑后,将截面转动 90° ,然后水平位置平放,以便于管节舾装。

全横截面整体浇筑这一方法已被杜洛格敦隧道采纳,并将它作为工业化施工方法的一部分。但是,此处的横截面小于 120m^2 ,将在水平位置上浇筑22m管节。与服务设施隧道相比,这既大幅度增加了混凝土工艺技术运用规模,又增加了施工困难度。但是,得到的结果却是无异于一条无裂缝混凝土。

碎石层

由于种种理由,丹麦承包商克里斯蒂和尼尔森开发的新技术使荷兰施工建造首个混凝土沉管隧道——马斯河隧道成为可能。这种技术操作如下:用千斤顶将隧道管节临时撑起,同时在管节下面喷射一层沙/水混合物,最终形成砂层。随后,松开千斤顶,使管节压在砂层上面。

在马斯河隧道之前,美式隧道也是建在碎石层上的,但人们当时认为这种方法并不适用于混凝土隧道,因为混凝土隧道具有更大的宽度和更小的柔韧性。

喷砂通常在管节之上的驳船上进行。因为此做法会妨碍船只通行,便研究出了“砂流”法,并首次用于拉克隧道(Vlake tunnel)中(1975),这种方法是采用河岸泵将砂/水混合物通过管道从隧道下部灌入。“砂流”法已经用于建造混凝土隧道很多年,但由于其规模、地基土和时间限制,因此杜洛格敦隧道推动了另一新技术的进一步发展,并已经在新加坡用于建造沉箱。这使得根据严格的公差范围在海床上浇筑碎石层成为了可能。因此,在克里斯蒂和尼尔森研究出建造马斯河隧道所用创新技术的55年后,荷兰承包商博斯卡利斯·威斯敏斯特又研究出了在碎石层上建造杜洛格敦隧道(丹麦境内)的新技术。

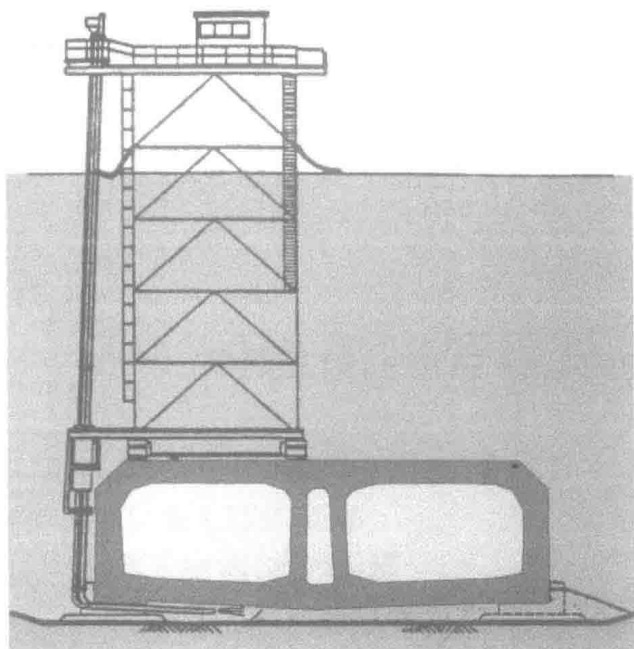


图8 克里斯蒂和尼尔森研究的喷砂法(Sandjetting developed by Christiani & Nielsen)

结论

杜拉格敦隧道的四个突出特征和整个厄勒大桥的成功竣工,将毫无疑问地推动沉管隧道的广泛运用,沉管工艺是一种具有自身应用范围且与其他施工方法相比具有多项优势的施工技术。隧道独有的特征将使它能够在未来半个世纪中更持久深入应用到实际中,甚至漂浮式沉管隧道也有可能变为现实。

