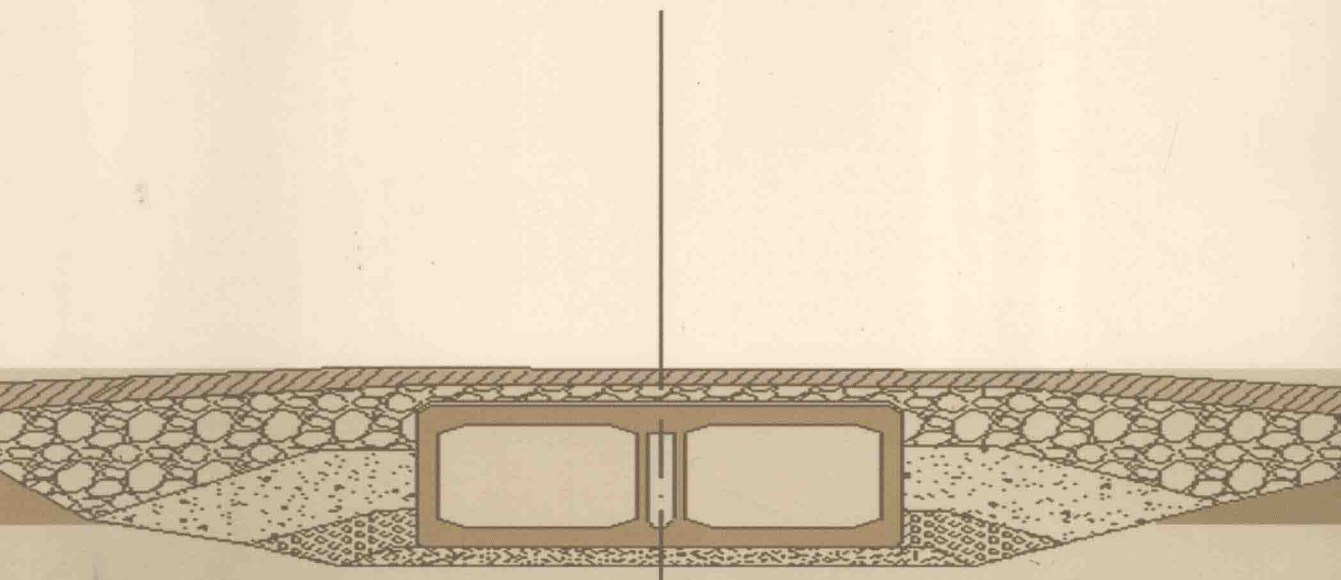


沉管隧道施工手册

CHENGUAN SUIDAO SHIGONG SHOUCHE



陈韶章 陈越 编著

中国建筑工业出版社

沉管隧道施工手册

陈韶章 陈 越 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

沉管隧道施工手册/陈韶章, 陈越编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2014. 6
ISBN 978-7-112-16703-6

I. ①沉… II. ①陈… ②陈… III. ①水下隧道—
隧道工程—工程施工—技术手册 IV. ①U459.5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 068848 号

责任编辑: 邓 卫
责任设计: 张 虹
责任校对: 张 颖 姜小莲

沉管隧道施工手册

陈韶章 陈 越 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销
北京科地亚盟排版公司制版
环球印刷(北京)有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17½ 字数: 437 千字

2014 年 12 月第一版 2014 年 12 月第一次印刷

定价: 42.00 元

ISBN 978-7-112-16703-6
(25469)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)



前 言

沉管隧道在不影响水上通行能力、不改变两岸立面景观的前提下，为连接两岸交通提供最短的线路，同一断面上提供多元化的交通通行形式。随着生产力的发展、设计计算及施工技术的进步、施工装备不断的升级和完善，沉管隧道的适应范围不断拓展，由江河到近海，由浅水到深海。乘着经济高速发展的东风，沉管隧道正绽放出独特的生命力。

我国大陆采用沉管法修建水下隧道起步较晚，有关沉管隧道施工技术总结的书籍不多；对沉管隧道施工技术的认知与国外较成熟的施工技术相比有差距。广州黄沙至芳村建造了国内首条道路与地铁共管的水下沉管隧道，珠江隧道的经验成为之后我国大陆建造沉管隧道的借镜。我们两位编者都是当年珠江隧道的直接参与者；沉管隧道在我国经过约20年的发展，同时与国外的技术交流日益频繁，在这样的情况下，形成了本手册的初稿。本手册总结国内已有沉管隧道的精华，并吸收国外沉管隧道的成熟经验，以沉管隧道施工参与者的角度，全面阐述沉管隧道施工各阶段应考虑的因素，如何实施；加强读者对沉管隧道施工技术的认识，深入介绍修建水下沉管隧道的各种成熟、先进工法。期望为从事沉管隧道建设的参与者提供一份参考。

由于我国的案例不多，建设规模、边界条件差异较大，加上编著者的水平有限，手册中难免存在个人的主观见解，希望广大同行批评斧正。

本手册的编著历经六年多，在陈韶章完成初稿的前提下，陈越负责了手册的修改和统稿，曾昭均参与了全过程的修改和完善，黄旭东、杨文军参与了编著工作，方磊提供了部分图片。本手册编著过程中得到了港珠澳大桥管理局、港珠澳大桥岛隧工程总承包、中交第四航务工程局有限公司的支持和帮助。作者特在此表示衷心的感谢。

编 者

2013年09月20日

目 录

1 概述	1
1.1 沉管隧道工程特点	4
1.2 沉管隧道工程管理目标	5
1.3 沉管隧道工程管理要求	6
1.4 沉管隧道的技术发展趋势	6
2 总则	9
3 主要术语	10
4 基本规定	12
4.1 详细的施工组织设计及施工说明书	12
4.2 主要的专项方案	13
5 施工准备	14
5.1 一般规定	14
5.2 施工前准备	15
5.3 健康、安全与环境保护措施	17
5.4 工期保证体系	18
5.5 工程质量管理体系及保证措施	19
6 施工测量	20
6.1 一般规定	20
6.2 地面（水域）控制测量	20
6.3 施工高程控制测量	21
6.4 联系测量	22
6.5 地下（或水下）控制测量	22
6.6 施工测量	23
6.7 贯通测量	26
6.8 竣工测量	27
7 施工风险评估及应急预案	28
7.1 风险管理的必要性	29
7.2 沉管隧道动工前必须进行施工风险评估及应急预案的审查	30
7.3 施工风险评估的主要内容和要求	31
7.4 应急预案	33
8 混凝土沉管隧道管节预制场	36
8.1 管节预制形式	36
8.2 干坞施工	38

8.3	坞门和围堰施工	40
8.4	干坞施工允许偏差	41
8.5	预制管节期间干坞的养护	41
8.6	施工附加荷载的要求	42
8.7	工厂化预制管节的干坞	42
8.8	坞门	45
8.9	干坞灌排水系统	49
9	钢筋混凝土管节预制	53
9.1	一般要求	53
9.2	传统干坞法预制沉管	54
9.3	工厂化预制沉管	76
9.4	混凝土的原材料选择和配合比要求	87
9.5	混凝土生产	103
9.6	防水底钢板、钢端壳、端封门的制作和安装	113
9.7	压载水舱的制作和安装	117
9.8	GINA 及 OMEGA 橡胶止水带安装	117
9.9	管节外防水处理	121
9.10	防锚层施工	122
9.11	管节舾装的金属结构件制作、预埋件预埋及安装	123
9.12	管节内临时施工设施及舾装作业安全要求	128
10	沉管隧道水下开挖	129
10.1	沉管隧道水下开挖主要内容	129
10.2	沉管隧道水底开挖前的工程现场调查和勘测	129
10.3	沉管段基槽开挖	135
10.4	基槽炸礁清渣施工	151
10.5	沉管隧道水底开挖施工作业的安全要求	161
10.6	施工测量	161
11	管节浮运	166
11.1	管节浮运主要方式	166
11.2	管节浮运的一般要求	167
11.3	基础资料收集	167
11.4	管节浮运路线	168
11.5	管节浮运方式及选择	168
11.6	管节起浮出坞作业	170
11.7	管节浮运作业的安全要求	171
11.8	管节浮运与航运安全	173
11.9	管节浮运的报批和公告	174
11.10	管节岸上预制、浮船坞（半潜驳）出运	174
11.11	异形管节浮运要求	176

12 管节沉放、对接和接头处理	177
12.1 管节沉放对接的一般要求	177
12.2 基础资料准备	177
12.3 管节沉放前的试验	178
12.4 管节沉放的锚碇方式	180
12.5 管节沉放技术要求	181
12.6 管节沉放、对接允许偏差	186
12.7 管节沉放、对接施工作业主要施工工序	187
12.8 沉管（管节）接头处理	190
12.9 最终接头的处理	192
12.10 节段接头处理	193
12.11 潜水员水下作业	194
13 沉管隧道沉管段基础处理及基槽回填	201
13.1 基础处理方法	201
13.2 沉管段基础处理的一般要求	201
13.3 先铺法基础处理	201
13.4 后铺法基础处理	208
13.5 人工加固地基	212
13.6 基础处理的质量控制	216
13.7 回填处理	218
14 沉管隧道岸上段施工	221
14.1 岸上段的设计形式	221
14.2 岸上段临时围堰工程	221
14.3 岸上段临时围堰及基坑支护桩施工	223
14.4 岸上段护岸	231
14.5 岸上段施工	235
14.6 一侧岸上段作为沉管隧道轴线干坞的施工	246
15 沉管隧道内部土建装修工程施工	248
15.1 沉管隧道内部土建装修的一般要求	248
15.2 国内外隧道路面结构	248
15.3 道路沉管隧道水泥混凝土路面施工	249
15.4 道路沉管隧道沥青混凝土面层施工	259
15.5 轨道交通的沉管隧道整体道床轨道施工	266
15.6 隧道装修	269
参考文献	272

1 概 述

采用沉埋管段法（简称沉管法），修建水下隧道是 20 世纪初发展起来的新工法。自 1910 年美国首次采用沉管法修建了穿越底特律河的铁路隧道工程至今，根据统计资料，目前世界各国已建成沉管隧道约 130 座，而在美国修建沉管隧道的历史最长，其沉管隧道的结构形式均为单层或双层钢壳的钢壳与钢筋混凝土复合结构。日本于 1935 年开始修建沉管隧道，据不完全统计，就沉管管节的结构形式来说，约 60% 是矩形箱式钢筋混凝土结构，40% 是圆形钢壳的钢壳与钢筋混凝土复合结构，可以讲日本沉管隧道的修建技术，也是从钢壳与钢筋混凝土复合结构形式开始，逐步被矩形箱式钢筋混凝土结构形式代替的。荷兰于 1942 年修建了第一座沉管隧道（鹿特丹 Mass 河隧道），亦是世界上首次采用矩形箱式钢筋混凝土管节的沉管隧道，该结构形式自 20 世纪 80 年代后成为沉管隧道的主流结构形式。

沉管隧道在美国、日本、荷兰等国家的成功实例，隧道结构形式、防水、基层处理、结构抗震等关键技术问题的成功解决，使沉管隧道成为跨江、海的重要手段，也使得建设沉管隧道的方法日臻完善，促进了世界各国的沉管隧道建设。

我国大陆采用沉管法修建水下隧道起步较晚，20 世纪 60 年代在上海开展过此工法的理论研究，并于 1976 年在杭州湾的上海金山石化工程中，首次采用此工法建成了一座水下排污隧道（矩形箱式钢筋混凝土结构）。直到 20 世纪初，共计在广州珠江、宁波甬江、上海黄浦江建成了六座沉管隧道。其中广州黄沙至芳村珠江水下隧道为道路与地铁共管的沉管隧道，其余均为道路沉管隧道。这六座沉管隧道均采用矩形箱式钢筋混凝土结构形式。目前正在修建的双向六车道的广州洲头咀道路沉管隧道、天津海河道路沉管隧道、佛山东平河道路与地铁共管的沉管隧道、宁波沈家门人行沉管隧道以及高速公路标准双向六车道的港珠澳大桥海底沉管隧道都是采用矩形箱式钢筋混凝土结构形式。

适合于沉管法施工的主要条件是：水下基底稳定和水流速度相对较缓。前者不仅便于顺利开挖隧道基槽，而且减少土方开挖量，最大限度降低环境影响；后者便于管节浮运、定位和沉放，提高施工质量控制。

管节的预制按制作方式可分为船台上制作和干坞中制作两大类型：一类是船台型管节制作。是利用船厂的船台，先预制钢壳，将其沿滑道滑移下水后，在浮起的钢壳内灌筑混凝土，该类管节的横断面一般为圆形、八角形和花篮形，由于管节内轮廓为圆形，在车辆限界以外的上下方空间虽可利用为送、排风道，但车道的有效净空相应压低，致使隧道埋深增加，因此沟槽深度和隧道长度均相应增大；又因其内径受限制而只能设置双车道的路面，亦即限制了同一隧道的通行能力；同时耗钢量大，管节造价高，而且钢壳焊接质量及其防腐蚀问题尚未能完善解决，因此只是早期在美国应用较多。另一类是干坞型管节制作。是在临时的干坞中制成钢筋混凝土管节，向干坞内放水后，将其浮运到隧址沉放，其断面大多为矩形，不存在圆形断面的缺点，免除了钢壳结构使工程节省大量钢材，但在制

作管节时，须对混凝土施工工艺采取严格措施，以满足其均质性和水密性特别高的要求，并保证必需的干舷（管节顶部浮出水面的高度）和抗浮安全系数。1989年 ORESUND 隧道联合体预制厂设计组组长 SPRENG RODOLF 首次提出工厂法预制方案基础概念和方法，并在丹麦的厄勒海峡隧道中成功实践。该施工方法由干坞型管节制作演变而来，称为“工厂法”管节预制。该方法采用在专设的厂房内进行管节的工业化生产，再分批推入浅水坞区进行一次舾装，用坞门闭合坞区，坞内灌水，沉管浮起并拖移至深水坞区位置，放水减低坞内水位至坞外水面持平，打开坞门，管节拖运出坞，完成预制、一次舾装至出运的完整周期。详见图 1-1。在建的港珠澳大桥沉管隧道的管节预制也将采用这一施工方法。

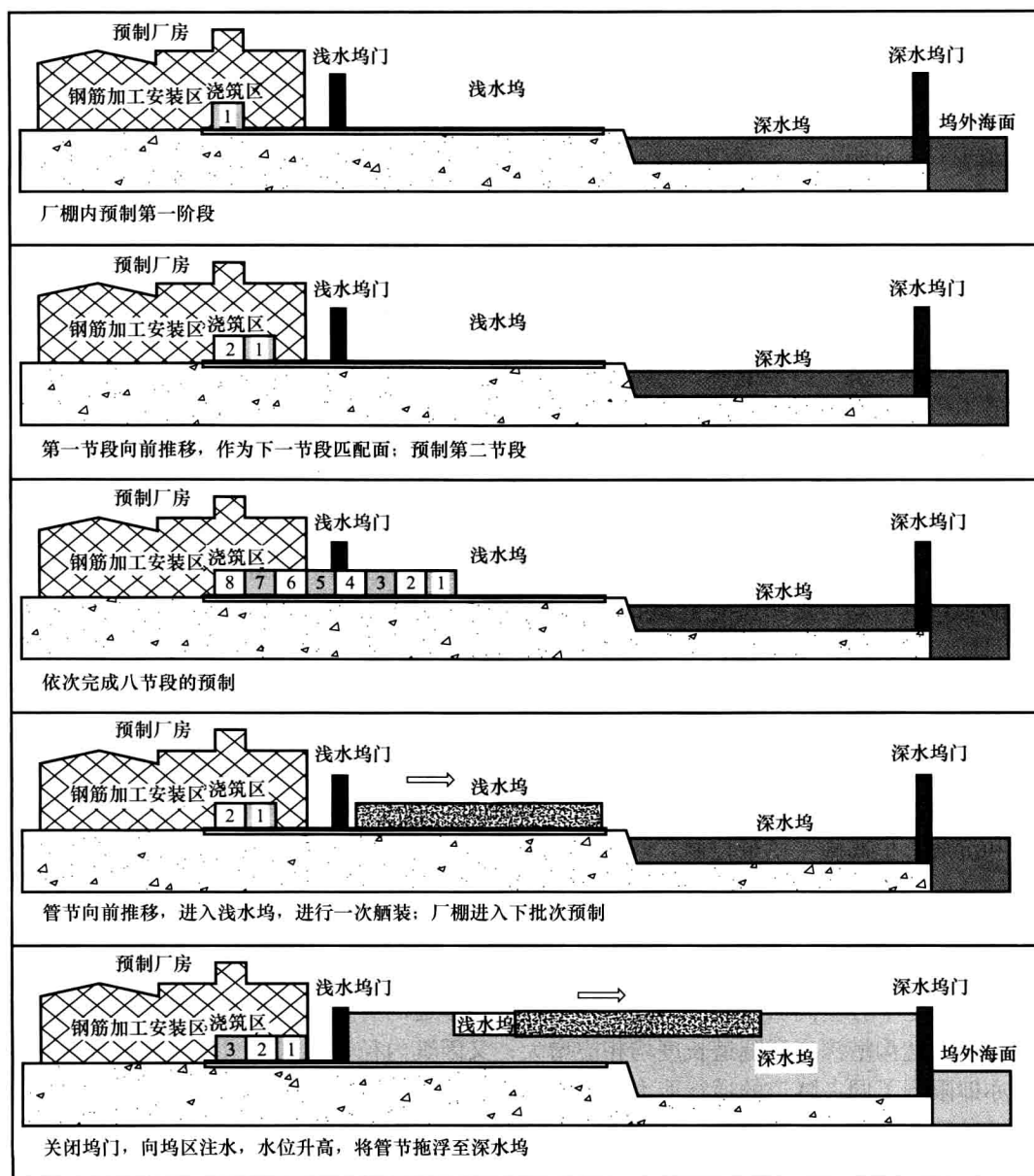


图 1-1 沉管预制厂法工艺流程示意图（一）

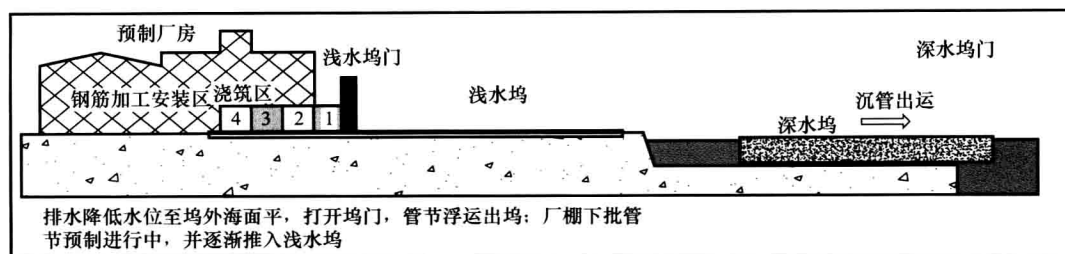


图 1-1 沉管预制厂法工艺流程示意图 (二)

目前广泛使用的管节沉放方法有多种, 这些方法适用于不同的自然条件、航道条件、隧道规模以及设备条件。管节的沉放可采用抬吊法 (扛吊)、骑吊及浮吊法, 施工中常用的双浮驳抬吊与骑吊两种方法各有优缺点, 详见表 1-1。抬吊方法的管节沉放系泊绞车可布置于抬吊船的甲板面上, 如绞车布置于测量塔的平台上, 则从功能的效果上看, 与骑吊一样。骑吊方法的管节沉放系泊的绞车一般布置于测量塔的平台上。

抬吊沉放管节与骑吊沉放管节的比较

表 1-1

比较项目	双浮驳抬吊法	双浮驳骑吊法
沉放绞车布置	绞车布置于吊驳甲板面	绞车布置于测量控制塔平台
测量控制塔	结构要求低, 主要起测量标杆作用	结构要求高, 起沉放安装系泊绞车的支撑平台及测量标杆作用
吊驳的就位	就位不需使用大型起重设备	就位需使用大型的起重船
吊驳的系泊要求	吊驳的系泊要求很高	吊驳的系泊要求较低
吊沉系统	成熟	成熟
管节沉放安装平面调位	受力不直接, 反应较慢	受力直接, 反应快

20 世纪 50 年代以前, 钢壳制作的管节水下连接均采用水下灌注混凝土的方法。50 年代末期, 在加拿大温哥华, 钢筋混凝土制作的矩形管节采用水力压接法获得成功。此方法是在加拿大温哥华隧道实践中创造成功的, 故也称温哥华法。之后此方法在沉管隧道中被普遍采用, 它利用作用于管节后端封墙上的巨大水压力, 使安装在管节前端周边上的一圈 GINA 橡胶止水带产生压缩变形, 形成一个水密性良好的止水接头。管节采用水压接法的施工过程示意详见图 1-2。

管节的水下对接施工, 在每节管下沉着地时, 结合管节的沉放对接方案进行符合精度要求的对位。然后使用预设于管节内隔墙上的 2 台拉合千斤顶 (或利用定位卷扬机), 将沉放施工管节拉向前一管节, 使 GINA 橡胶止水带的尖肋略为变形, 起到初步止水作用。完成拉合后, 即可将前后两管节端封墙之间被 GINA 橡胶止水带封闭的水通过前管节端封墙下部的排水阀排出, 同时利用端封墙顶部的进气阀放入空气。排水过程中, 巨大的水压力作用在整个 GINA 橡胶止水带上将其再次压缩, 使隧道接头实现完全止水。完成水力压接后, 便可拆除封墙 (一般由钢结构、钢筋混凝土或复合结构筑成), 使已沉放的管节连通岸上段, 并可开始铺设路面等内部装修工作。

管节基础处理的目的是使基槽底面平整, 并达到隧道地基刚度的均衡度, 而不只是为了提高地基的承载力。在水下开挖的基槽, 其底面凹凸不平, 如不加以整平, 管节沉放后会因地基受力不均匀而导致局部破坏, 或因不均匀沉陷而开裂。管节沉放之前早期大多

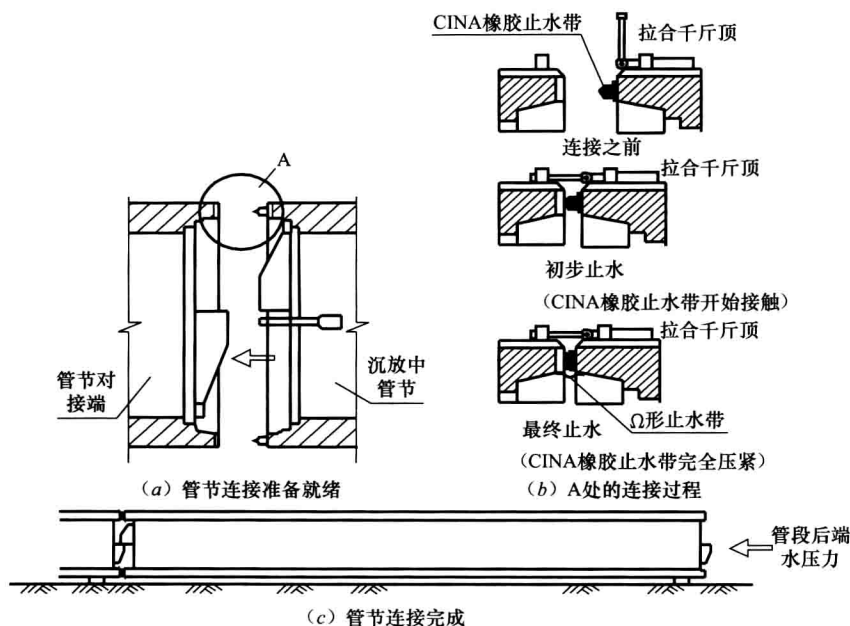


图 1-2 管节用水力压接法的施工过程示意

采用先铺砂石作为垫层的先铺法。它是通过作业船上的卷扬机和钢索操纵特制的刮铺机或钢犁，沿着设置在基槽底面两侧具有规定标高和坡度的导轨，将放下的垫料往复刮平。该法虽然水下作业工作量较大，但在节段式管节的沉管隧道中充分发挥作用。目前丹麦—瑞士的厄勒隧道和韩国的巨济隧道均采用碎石先铺法。另一种垫平的方法为后填法，即先将管节沉放在基槽底上的临时支座上，并使管底形成一定的空间（管节底板内预设液压千斤顶，在定位时可以顶向支座，调节管节高程），随后用垫层材料充填密实。

1.1 沉管隧道工程特点

(1) 沉管隧道适用于河流的下游或出海口建造，同时需要河势演变或海势演变相对稳定，水流速度较小，水深不大。

(2) 沉管隧道的几何设计：

1) 沉管隧道的几何设计包括了线路的平、纵剖面 and 横断面设计，其设计标准和设计原则与所衔接的道路、轨道交通线路要求一致；

2) 管节干舷高度、抗浮安全系数选取和控制，对线路的平、纵剖面 and 横断面设计有很大影响，因而在几何设计中应遵循横断面→纵剖面→平面的顺序。

(3) 影响沉管隧道结构与防水设计的主要因素：

1) 沉管节的几何尺寸，包括沉管段的长度、管节数量及长度、横断面的大小等；

2) 施工组织、施工方案和施工过程的各种工况；

3) 气象、水文和水质、工程地质和水文地质、地震、航道和锚区、地下和水中构筑物（含管线、沉船等障碍物）、环境、防灾等条件。

(4) 沉管隧道的工程设计特点是在规划、设计阶段大约只能完成设计或技术工作量的

40%左右，其余设计或技术工作量要在施工阶段完成。

(5) 通常沉管隧道的上覆土较薄，沉管段对地基承载力要求不高（除了特别软弱地基），重点在于基础的不均匀沉降问题。

(6) 沉管法主要优点：

1) 水下隧道若采用沉管法，其线路的埋置深度较小，易与两岸的道路相连接。

2) 隧道结构施工质量能较好控制。因管节采用预制方式，混凝土施工质量高，易于做好防水措施；而且采用水力压接法可以实现接头的水密性。

3) 横断面形状、大小有较大的选择余地，断面空间可充分利用，大型的矩形断面的管节可容纳 4~8 车道。

4) 沉管隧道暗埋段、管节预制、管节安装、基槽开挖等多个工作面可同步进行，工期较短。

5) 操作条件好，施工安全。除少量的人员水下作业外，基本上无地下作业，更不用气压作业。风险可控制度高。

6) 随着施工技术和施工装备不断提高和改进，沉管隧道水下埋深已经达到 70m。

1.2 沉管隧道工程管理目标

(1) 沉管隧道工程管理首先围绕质量控制进行，从工程准备阶段、施工过程以及工程竣工阶段均以满足质量控制为目的。

(2) 沉管隧道工程的工期目标参考表 1-2 的工程施工进度节点进行控制。

沉管隧道工程施工进度节点汇总表

表 1-2

序 号	项 目 名 称	备 注
1	两岸沉管接口完工时间	工期控制关键点
2	水下基槽完成时间	
3	沉管基础处理完工时间	
4	沉管预制干坞完工时间	工期控制关键点
5	首批沉管预制完工时间	工期控制关键点
6	沉管预制完工时间	工期控制关键点
7	首次沉管安装时间	工期控制关键点
8	沉管安装完工时间	工期控制关键点
9	沉管最终接头开工、完工时间	
10	沉管贯通完工时间	
11	沉管岸上段主体完工时间	
12	沉管隧道内道路、管道及附属设施完工时间	工期控制关键点
13	沉管机电设备、控制系统安装完工时间	
14	沉管隧道竣工时间	工期控制关键点

(3) 投资（概算）控制目标，需根据工程的具体环境、技术特点、施工条件进行投资分解，建立投资控制的管理体系。

(4) 以工程环境评估报告为依据，拟定环境保护具体要求，提出工程环境控制目标；在工程施工前拟定相应的环境保护方案。沉管隧道环境保护主要包括：对工程所在区域

(包括沉管浮运区域)的水体保护,将水体内生态影响降到可接受水平;对施工区域(包括干坞施工区域)两岸及水底土体保护。

(5) 工程实施过程满足安全生产与劳动保护目标。

1.3 沉管隧道工程管理要求

(1) 不同的沉管隧道工程特点有不同的工程管理的的要求:

1) 如沉管所处位置有特殊的生态保护要求,工程管理中应有相应的保护措施和管理要求。

2) 如沉管在近海,水中的主体直接受海水侵蚀,工程管理中应增加耐久性施工的管理要求。

3) 如沉管处在软土区,基础处理与沉管沉降应满足设计要求。

4) 如沉管所处于区域受季候风影响,水域水流不稳,风高浪急。工程管理应有针对性的管理要求。施工前与当地气象部门建立联系及合作关系,收集气象和水文资料,严密监控台风天气动向。

(2) 沉管隧道主要工程部分的划分:

1) 两岸上段或海上人工筑岛(含附属建筑)工程;

2) 管节预制场地(干坞)和管节预制工程;

3) 沉管段基槽开挖;

4) 寄放、浮运、沉放、水下对接、接头处理(包括管节之间、管节与两岸上段之间接头)、结构处理、基础处理及覆盖回填等;

5) 沉管隧道内部装修(包括防火处理);

6) 相应道路隧道的路面工程或轨道交通的无渣道床和轨道工程;

7) 相应道路隧道或轨道交通的机电系统工程。

(3) 合理划分沉管隧道的标段,明确政府有关部门、业主、监理、承包商(含设计和施工)、最终用户的责权利,制定合理的工程设计、施工承包原则。

1.4 沉管隧道的技术发展趋势

沉管法隧道对地基要求较低,特别适用于软基、河床或海床较浅易于用水上疏浚设施进行基槽开挖的工程地点,同时由于其埋深小,包括连接段在内的隧道线路总长较矿山法和盾构法隧道显著缩短;沉管断面形状可圆可方,选择灵活;基槽开挖、管节预制、浮运沉放和内部铺装等各工序可平行作业,彼此干扰较少;管节预制质量易于控制。虽然管节沉放时对航道有影响,但总体上优于其他方法。随着沉管法隧道设计和施工中关键技术问题的逐步解决和日趋完善,随着沉管法在世界各国的广泛采用和技术上的交流,沉管隧道受到越来越多国家的重视。

总体上,沉管隧道是一项技术性较强的重大工程,隧道的设计施工过程中涉及多学科的知识,如土木工程中混凝土结构防水问题、船舶工程中船舶与管节拖曳与操纵问题、水力学中管节水动力问题、海洋工程中波浪及潮汐作用问题、水力学中泥沙问题以及空气

动力学中隧道通风问题等。

沉管隧道的沉放容易受水流的影响,在水流过急的地方,沉管隧道的修建需要采取相应的措施。同样,考虑到沉管隧道的沉放和基槽的开挖及地基处理,在水深过大的地方也需开发相应的技术,才能采用沉管隧道方案。不过,随着科学技术的发展,沉管隧道适用的水流越来越快,水深越来越大,沉管隧道的适用范围也就越来越大。

虽然沉管法自从问世以来,因为施工方式先进,可操作性强,已经逐渐成为修建水下大型隧道的重要选择,并且无论从设计方法、施工工序、配套工程的处理等方面都取得了长足的进步,有力地促成了众多大型工程的顺利完工,但对此法的研究和经验总结一直没有停止过。国内外工程界关心和研究的重点主要表现在经济性能、制作工艺和施工技术、防水技术、基础处理、环境影响新的课题等方面。

同时,在隧道设计中,隧道抗震以及其他偶然作用的合理计算也成为研究的热点。因为没有相关的规范约束,在什么样的可靠度下进行这种偶然作用的计算,还没有定论。而这些参数的合理选取必将影响沉管隧道在复杂地质和环境下的建设的经济性和安全性之间的协调。在特殊设计通行高速列车的沉管隧道时,空气动力效应需要考虑隧道内最大瞬变压力和洞口微气压波。

从美、日、荷沉管隧道工程发展历史以及中国建造沉管隧道的实践中,大致可以看出世界沉管隧道的技术发展趋势:

(1) 沉管隧道的长度越来越长,从过去的隧道长度只有几百米发展到目前的约 6km,即将动工的丹麦至德国的沉管隧道(Fehmarn Belt Link)长度约 18km。

(2) 沉管隧道的埋置深度越来越大,从过去适用于几米水深发展到约 60m 水深的水域。

(3) 沉管隧道的单洞宽度越来越大,目前规划了单洞四车道的高速公路。

(4) 沉管隧道的使用功能从单一用途向多用途发展,沉管隧道在初期都用于较低车速的城市道路。随着沉管横断面不断增大,断面组合出现了多种形式。沉管隧道已能够适用于轨道交通系统中;沉管隧道长度不断延伸,通行设计车速增加,能够满足高速公路系统对车速的要求。

(5) 施工工艺向多元化、标准化发展。以往的沉管隧道管节预制均采用干坞内预制生产,预制完成后,分批浮运出坞、安装。施工装备发展后,出现了采用半潜驳作为预制场所的移动式干坞沉管预制施工工艺技术。节段式管节出现后,又出现了工厂化的沉管预制生产工艺。工厂化预制沉管技术在丹麦厄勒海峡沉管隧道中成功采用。在建中的中国港珠澳大桥沉管隧道再次采用这一先进预制施工工艺技术。随着施工工艺技术的发展,浇筑工艺均采用了全断面的浇筑工艺。沉管抗裂设计也有了新的要求。

(6) 单体计算向复合计算理论发展。在全球各地修建的沉管隧道越来越多,隧道所处地区地质千差万别,沉管的埋深也刷新了新的纪录,埋深达到 70m。在进行受力计算时逐渐形成了以地基处理与上部结构协调考虑的新的设计计算理论。为了更好地适应地质变化,满足在地震烈度较大的地区修建沉管隧道的要求,并合理降低工程造价。自丹麦厄勒海峡成功修建了采用柔性接头的节段设计沉管隧道后,在亚洲韩国釜山再次采用了该沉管设计方案。采用了柔性接头的设计,沉管隧道对地质的适应性更强。

(7) 结构耐久性设计。为了适应不同的工作环境,对沉管耐久性提出了更高的要求。

在建中的港珠澳大桥沉管隧道明确设计使用寿命为 120 年。在改善混凝土双掺技术工艺的同时，严格原材料的控制；制造管节材料逐步由钢筋混凝土取代，并趋向于采用高性能的混凝土。采用工厂化预制工艺，为满足沉管更高耐久性要求提供了更好的施工条件。

(8) 沉管安装工艺发展。沉管安装在施工装备改进和发展条件下，使用人工水下作业的工作量越来越少。沉放过程越来越多地采用施工机械来完成。在较高流速、60m 水深的条件下，沉管能够顺利安装沉放。

沉管技术在中国已经显示出蓬勃的生命力，同时也向我们提出了严峻的挑战。通过学习国内外先进技术与经验，应用新材料、新机具、新工艺，我国已掌握了用沉管法修建水底隧道的关键技术，为修建沉管隧道积累了许多宝贵的经验。

2 总 则

(1) 加强项目管理

必须以实现项目的建设目标为己任，组建优势互补的团队，全面策划，精诚合作，统一管理，集中优势资源，确保项目建设目标的顺利实现。要根据业主的管理要求，建立健全管理体系和制度，完善资源保障和各项管理措施，做到科学建设、和谐建设。

(2) 加强技术管理

加强沉管隧道工程项目的施工技术管理，确保项目的施工安全、环境保护、工程质量；统一和指导沉管隧道工程的施工技术和质量验收标准。

(3) 严格执行标准和规定

工程建设应符合国家和相关地区现行有关强制性标准和规定。

(4) 严格要求，严把质量关

百年大计，质量第一。业主、监理、设计、承包商要严把质量关，要做到高标准、严要求。

(5) 全面风险管理

以国际隧道协会颁布的《隧道工程风险管理指南》为蓝本，根据项目的具体特点，系统策划风险管理方案，合理辨识风险源、评估风险等级，有针对性地采取风险防范措施，并实施全员参与、全过程、全覆盖的动态风险管理。

3 主要术语

(1) 沉管隧道 (Immersed Tube Tunnel): 是由若干预制钢壳 (圆形) 与钢筋混凝土复合结构或钢结构与混凝土复合结构以及钢筋混凝土结构制成的管节, 分别浮运到现场, 一个接一个地沉放安装, 在水下将其相互连接并正确定位在已经开挖的水下沟槽内, 其后辅以相关工程施工, 使这些管节组合体成为连接水体两端陆上交通的载体。

(2) 管节 (Element): 是指钢壳 (圆形) 与钢筋混凝土复合结构或钢结构与混凝土复合结构以及钢筋混凝土结构的隧道, 水下连接的节段单元。

(3) 节段 (Segmental): 组成管节的独立结构段。

(4) 整体式管节 (Monolithic Tunnel Element): 是指钢筋混凝土管节中每一施工分段之间纵向钢筋连通的管节。

(5) 节段式管节 (Segmental Tunnel Element): 是指钢筋混凝土管节中每一施工分段之间纵向钢筋断开不连通的管节。

(6) 干坞 (Dry Dock): 是为预制管节而专门设置的预制场所。

(7) 浮船坞 (Floating Dock): 是为预制管节而专门设计浮动式的预制场, 可实现管节预制及运输一体化作业。

(8) 浮运 (Towing): 是指通过船舶或其他方式将管节拖运至指定地点。

(9) 压水舱 (Counterweight Water Tank): 是指管节在水中沉放施工中, 临时装设在管节内的水舱, 以调节和平衡管节重力和水浮力, 并为沉放作业提供负浮力。

(10) 沉放 (Submersion): 是指通过增加压水舱内的水产生负浮力, 使管节下沉, 并初步调整其位置和高程的施工作业。

(11) 水下对接 (Under Water Connection): 是指将沉放于水下就位的管节, 经精确调整位置和高程后, 通过水压接, 使初始密封装置达到水密性要求, 与已经沉放的管节或岸上段连接贯通的施工作业。

(12) 压重层 (Ballast): 是指管节沉放就位后, 保证管节在运营或施工期间, 提供设计要求的抗浮系数的压载物料。运营期间的永久压重层, 是一种非结构固体物料, 可安放在管节内或外, 作为永久增加管节有效重量, 提供永久性负浮力之用。施工期间的临时压重层, 可为固体物料或液体, 作为临时增加管节有效重量, 提供临时性负浮力之用, 完工前逐步被永久压重层所代替。

(13) 防锚层 (Anchor Proofing): 是指在管节外顶部浇筑的一层混凝土, 防止船舶抛锚时, 损坏管节主体结构, 同时可起到调节管节干舷高度作用, 并可作为永久压重层的一部分。

(14) 干舷 (Freeboard): 是指管节在静止水面以上的高度。

(15) 坞门 (Dock Gate): 是指设于坞口位置的一道能阻隔干坞进水的结构。

(16) 施工缝 (Construction Joint): 是指管节钢筋混凝土浇筑段之间的水平或垂直的