



# 港珠澳大桥工程风险保障方案

姓名：郭贺菲

学号：2120192482

专业：保险专硕

指导教师：刘玮

## 目录

一、港珠澳大桥工程概况.....	3
1. 港珠澳大桥基本情况 .....	3
1.1 地理状况 .....	4
1.2 施工方 .....	4
2. 港珠澳大桥工程主要内容 .....	5
3. 港珠澳大桥工程主要特点 .....	5
3.1 项目规模宏大 .....	5
3.2 项目建设条件复杂 .....	5
3.3 建设标准要求高 .....	5
3.4 技术难度大 .....	6
3.5 建、管、养模式独特，建设合同模式独特 .....	6
二、港珠澳大桥工程风险评估.....	7
1. 风险区块 A—沉管隧道 .....	7
1.1 沉管隧道基本情况 .....	7
1.2 沉管隧道施工关键技术 .....	8
1.3 常见风险 .....	10
2. 风险区块 B——人工岛 .....	12
2.1 人工岛基本情况 .....	12
2.2 人工岛施工流程 .....	12
2.3 人工岛常见风险 .....	13
3. 风险区块 C-悬索桥 .....	14
3.1 锚碇基坑施工风险 .....	14
3.2 桥塔施工风险 .....	14
3.3 主缆施工风险 .....	14
4. 风险区块 D-桥梁工程.....	14
4.1 桥梁工程概况 .....	14
4.2 桥梁工程施工关键技术 .....	15
4.3 桥梁工程常见风险 .....	16
三、港珠澳大桥工程风险保障方案.....	16
1. 建筑工程一切险附加第三者责任险保险计划 .....	16
1.1 保险期限 .....	16
1.2 保险责任 .....	17
1.3 保险金额 .....	17
1.4 特色定制条款 .....	17
1.5 免赔率 .....	18
2. 人身意外保险保险计划 .....	18
2.1 保险责任 .....	19
2.2 保险金额 .....	19
2.3 保险期间 .....	19
3. 再保安排 .....	19

4. 风险管理计划 .....	20
4.1 建设前期：风险的识别与分析 .....	20
4.2 建设中期：技术协助和咨询顾问 .....	20
4.3 建设后期：协助维持项目安全性 .....	21

## 一、港珠澳大桥工程概况

### 1. 港珠澳大桥基本情况

港珠澳大桥是中国境内一座连接香港、珠海和澳门的桥隧工程，位于中国广东省珠江口伶仃洋海域内，为珠江三角洲地区环线高速公路南环段。港珠澳大桥东起香港国际机场附近的香港口岸人工岛，向西横跨南海伶仃洋水域接珠海和澳门人工岛，止于珠海洪湾立交；桥隧全长 55 千米，其中主桥 29.6 千米、香港口岸至珠澳口岸 41.6 千米；桥面为双向六车道高速公路，设计速度 100 千米/小时；工程项目总投资额 1269 亿元。港珠澳大桥集岛、桥、隧于一体，其海底沉管隧道全长 6.7 公里，是目前世界上最长海底隧道。



图 1 港珠澳大桥线路走向图



图 2 港珠澳大桥总平面图

自 2004 年 3 月前期工作协调小组办公室成立，到 2009 年 12 月 15 日开工，再到 2018 年 10 月 24 日上午 9 时正式通车运营，港珠澳大桥从设计到建设完成前后历时 14 年。大桥造价超过 720 亿元人民币，5 万多参加建设施工。设计使用

寿命 120 年，建成后可抗 8 级地震，抗台风 16 级。

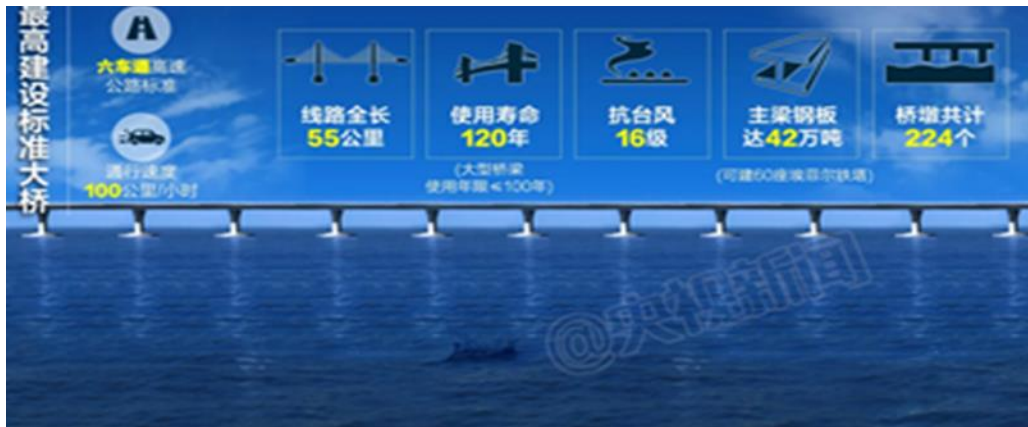


图 3 港珠澳大桥主要参数示意图

### 1.1 地理状况

伶仃洋地处珠江口，平日涌浪暗流及每年的南海台风都极大影响高难度和高精度要求的桥隧施工；海底软基深厚，即工程所处海床面的淤泥质土、粉质粘土深厚，下卧基岩面起伏变化大，基岩深埋基本处于 50 至 110 米范围；海水氯盐可腐蚀常规的钢筋混凝土桥结构。

伶仃洋是弱洋流海域，大量的淤泥不仅容易在新建桥墩、人工岛屿或在采用盾构技术开挖隧道过程中堆积并阻塞航道、形成冲击平原，而且会干扰人工填岛以及预制沉管的安置与对接；同时，淤泥为生态环境重要成分，过渡开挖可致灾难性破坏；桥隧工程既要满足低于 10% 阻水率的苛刻要求，又不能过渡转移淤泥。

港珠澳大桥主体工程深入外海，同时要面对复杂多变的海洋气候和海底地质条件，存在深水深槽、大径流、强回淤等不利因素。

港珠澳大桥的九洲航道桥施工区域横穿白海豚的繁殖地，中华白海豚是全球范围内最为濒危的一类海洋哺乳动物，目前仅存活千余头，被誉为“海上大熊猫”。为尽量少占白海豚生存空间，需要将承台深埋在海床底下，提高施工难度。

伶仃洋航道是大型运输船只在这片海域通行的唯一通道，也是全球最重要的贸易航道，每天有 4000 多艘船只穿行，目前达到 10 万吨级通航等级，为了不影响航道通航状况必须修建海底隧道和人工岛。港珠澳大桥附近有澳门、香港两个国际机场，对桥高有严格限制，机场的航空限高不能超过 120 米。

### 1.2 施工方

港珠澳大桥的施工采用 EPC（Engineering Procurement Construction）模式，由中国交通建设股份有限公司牵头的联合体受港珠澳大桥管理局的委托，按照合同约定对港珠澳大桥项目的设计、采购、施工、试运行等实行全过程或若干阶段的承包。其中 Engineering 包括具体的设计工作和整个建设工程内容的总体策划以及整个建设工程实施组织管理的策划和具体工作，Procurement 包括建筑设备材料和专业设备、材料的采购，Construction 包括施工、安装、试测、技术培训等。

初步设计是由中交公路规划设计院有限公司、丹麦科威国际咨询公司、奥雅纳工程顾问、上海市隧道工程轨道交通设计研究院、中交第一航务工程勘察设计院有限公司负责。岛隧工程设计是由中国交通建设股份有限公司作为总牵头人，



联合中交公路规划设计院有限公司、艾奕康有限公司、丹麦科威国际咨询公司、上海城建（集团）公司、上海市隧道工程轨道交通设计研究院、中交第四航务工程勘察设计院有限公司六大国内外知名企业共同进行施工，施工方实力雄厚。

## 2. 港珠澳大桥工程主要内容

港珠澳大桥工程包括三项内容：一是海中桥岛隧工程；二是香港、珠海和澳门三地口岸；三是香港、珠海、澳门三地连接线。根据达成的共识，海中桥隧主体工程（粤港分界线至珠海和澳门口岸段）由粤港澳三地共同建设；海中桥隧工程香港段（起自香港石散石湾，止于粤港分界线）、三地口岸和连接线由三地各自建设。海中桥岛隧工程采用石散石湾-拱北/明珠的线位方案，路线起自香港石散石湾，接香港口岸，经香港水域，沿 23DY 锚地北侧向西，穿越珠江口铜鼓航道、伶仃西航道、青州航道、九洲航道，止于珠海/澳门口岸人工岛，全长约 35.6km，其中香港段长约 6km；粤港澳三地共同建设的主体工程长约 29.6km。主体工程采用桥岛隧结合方案，穿越伶仃西航道和铜鼓航道段约 6.7km 采用隧道方案，其余路段约 22.9km 采用桥梁方案。为实现桥隧转换和设置通风井，主体工程隧道两端各设置一个海中人工岛，东人工岛东边缘距粤港分界线约 150m，两人工岛最近边缘间距约 5250m。

海中桥隧主体工程采用双向六车道高速公路标准建设，设计速度采用 100km/h，桥梁总宽 33.1m，隧道宽度采用  $2 \times 14.25\text{m}$ 、净高采用 5.1m。全线桥涵设计汽车荷载等级采用公路-I 级，同时应满足香港《Structure Design Manual for Highways and Railways》中规定的活载要求，大桥的设计使用寿命 120 年。其他技术标准应符合原交通部颁发的《公路工程技术标准》（JTGB01-2003）中的规定。口岸采用“三地三检”模式分别由各方建设、各自独立管辖，香港口岸区设置在香港境内；内地（珠海）口岸和澳门口岸在澳门明珠点附近内地水域内地（珠海）口岸和澳门口岸人工岛填海总面积约 216.4 公顷，分为 4 个主要区域，包括：港珠澳大桥主体工程管理区、珠海连接线衔接区、珠海口岸管理区以及澳门口岸管理区。

## 3. 港珠澳大桥工程主要特点

港珠澳大桥主体工程的投资和技术难度为世界罕见，其主要特点如下：

### 3.1 项目规模宏大

主要工程包括海底隧道、2 个大型的连接隧道和桥梁的海上人工岛，项目总投资约 380 亿。

### 3.2 项目建设条件复杂

本项目除跨海长桥所面临的共性问题外，在风况、航运要求、防洪、航空限高、环境保护尤其对中华白海豚的保护、耐久性等方面均具有其特殊性，多种因素综合影响使本工程建设难度加大。

### 3.3 建设标准要求高

主体工程的设计和施工的规范、质量与技术标准应符合内地适用法律及工可报告有关规定，并应以“就高不就低”为原则，适当吸纳香港及澳门合适的相关规范、质量与技术标准，形成适用于本项目的规范、质量与技术标准；不足之处采用国际先进标准，以 BS 标准优先。120 年设计使用寿命高于国内现有标准，相应的材料性能与荷载代表值、结构耐久性等均要与其相适应。

### 3.4 技术难度大

本项目工程种类多，是目前世界范围内综合难度最大的项目之一，涉及通航孔桥、非通航孔桥、海底沉管隧道、大型海中人工岛及相关的交通工程和建筑工程等内容，每一项都是技术复杂的庞大工程，特别沉管隧道和深海人工岛都是国内经验欠缺、国外少见的挑战项目。

### 3.5 建、管、养模式独特，建设合同模式独特

本项目“三地三检”模式体现了区域地理位置的特殊性，由港珠澳大桥管理局统一负责大桥主体工程的营运期管理工作，并与香港、澳门管理中心实现信息链接。主体工程桥梁采用施工图设计和施工分开招标的传统模式，而岛隧工程采用完全不同的施工图设计和施工总承包建设合同模式。

本项目的亮点在桥梁工程，难点在岛隧工程。港珠澳大桥总的三大建设目标是：其一，建造世界级的跨海通道；其二，为用户提供优质服务；其三，成为地标性建筑。

港珠澳大桥工程的一大特点就是它同时包含了桥梁、隧道和人工岛几种不同的工程类型，因为海上通航的需要、香港机场航空限高的要求等，靠近香港段只能采用隧道形式通过，岛隧工程是本工程的重点和难点，采用施工图设计和施工总承包模式，于 2010 年底开工。近 6km 长的沉管隧道是世界上目前已建和在建工程中最长的混凝土沉管隧道，为了将来 30 万 t 油轮满载通航，隧道最大埋深达到海底约 40m 深；连接线桥梁和隧道的转换通过 2 个海中人工岛来实现，同时在海中人工岛上设置隧道的通风井。如果考虑本工程 120 年的设计使用寿命、高标准的质量要求、相对差的地质条件、隧道断面大跨度、恶劣的海洋施工条件、在软弱底层上填海造成的 2 个人工岛与隧道的复杂过渡段、各种创新的设计施工手段和设备等，港珠澳大桥可以被看作世界上最具挑战性的工程之一。

除此之外，港珠澳大桥的两个特别之处值得单独指出。其一，人工岛非传统性施工。试问：120 个 500 吨的钢圆管如何穿越 1600 公里运抵施工海域？制作过程呢？为何不用钢板桩施工？事实上，整个振沉系统中，振动锤、同步装置、动力站、液压油管、液压夹头等从美国引进，共振梁、吊架等由上海振华重工制造。钢圆管直径 22 米，最高 50.5 米，一共 120 个。把它们打入深海，需要有足够能量的“大锤”。所以，“中西合璧”共同打造了 8 台振动锤，而且工期只有 90 天。



图 4 人工岛工程示意图

其二，挑战性的沉管隧道施工。该隧道由东西岛头的隧道预埋段和每节排水量达 8 万吨的 33 节预制沉管以及长约 12 米重达 6500 吨的“最终接头”拼接而成，全长约 6.7 公里，是迄今为止世界最长、埋入海底最深（最深处近 50 米）、单个沉管体量最大、使用寿命最长、隧道车道最多、综合技术难度最高的沉管隧道。



图 5 沉管隧道示意图

## 二、港珠澳大桥工程风险评估

港珠澳大桥东起香港国际机场附近的香港口岸人工岛，向西横跨南海伶仃洋水域接珠海和澳门人工岛，止于珠海洪湾立交，分别由三座通航桥、一条海底隧道、四座人工岛及连接桥隧、深浅水区非通航孔连续梁式桥和港珠澳三地陆路联络线组成。桥隧全长 55 千米，其中珠澳口岸至香港口岸 41.6 千米，跨海路段全长 35.578 千米；三地共建主体工程 29.6 千米，包括 6.7 千米海底隧道和 22.9 千米桥梁。本文根据港珠澳大桥不同部分的风险差异，划分为沉管隧道、人工岛、桥梁工程三个风险区块来进行分析。

### 1. 风险区块 A - 沉管隧道

#### 1.1 沉管隧道基本情况

港珠澳大桥全长 55km，其中 26km 的连接线由广东、香港、澳门分别建设，29km 的海中段由三地合作建设，后者穿过多条航道。因为该区域发展的预留，珠江口阻水率的要求，以及香港机场的限高，海中段采用了桥一岛一隧组合方案。港珠澳大桥岛隧工程是整个通道的控制性工程，建设内容包括两个 100000m<sup>2</sup> 人工岛、岛上的建筑、一条 6.7km 长的沉管隧道（包括隧道的内装），以及沉管管节预制厂。隧道建设标准为双向 6 车道与 100km/h 时速，对应断面形式两管一廊。沉管段长 5.664km，由每节排水量达 8 万吨的 33 个管节和一个长约 12 米重达 6500 吨的最终接头组成。标准管节长 180m，重 76000 吨。



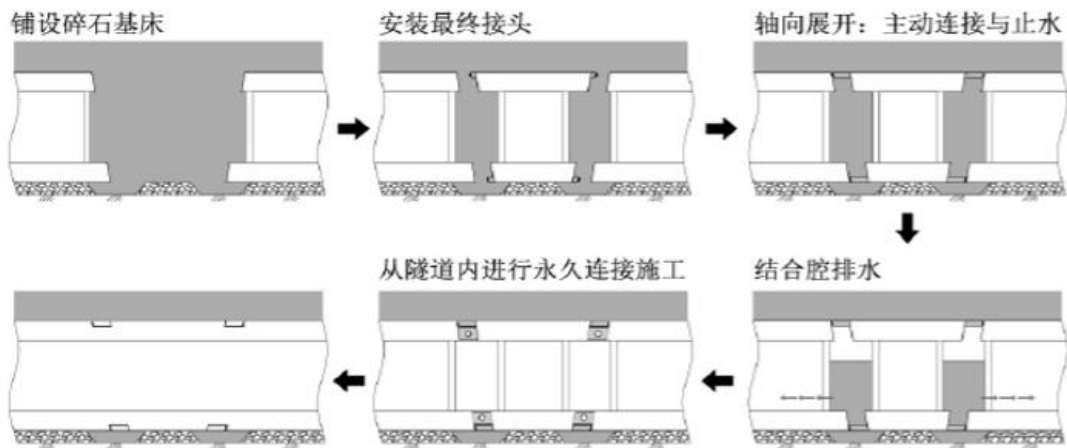


图 6 港珠澳大桥沉管隧道结构示意图

## 1.2 沉管隧道施工关键技术

### a) 隧道基础设计与施工

隧道基础设计与施工“组合基床”，水下堆载预压，与地基改良（主要是挤密砂桩）的组合。在碎石垫层的下方额外增加 2m 厚的块石层，并用水下液压锤的振动进行强夯。沉管基础作业，主要关键工序包括：①基槽粗挖、精挖，②基槽清淤，③基础抛石夯平；④碎石基床铺设。

碎石基床铺设关键技术难点包括：其一，水深大；其二，整平精度要求高，整平质量关系到沉管标高、接头受力；其三，整平工作量大，研制国内第一艘平台式整平船；其四，具有自动抬升、皮带运输、高精度声纳测控三大系统，全部采用自动化控制。

具体采用的方法是，改造了具有平挖功能的抓斗船，从而降低挖泥时对原状土的扰动，并且将隧道基槽底的竖向开挖精度误差控制在 50cm 内。改造出来了一艘“盖章式”清淤船，用于在碎石垫层铺设前清除隧道基槽底部的局部淤泥。研发了抛石夯平船用来施工前文所述的组合基床中的块石层。该船一边用两个溜料管抛填水下块石，一边用一台水下液压振动锤在块石层表面进行强夯。此外，在碎石整平船上加装了吸头，该吸头能够在碎石垫层上直接清除局部的淤泥而基本不扰动已经铺设好的碎石垫层。

### b) 深埋段隧道纵向设计

沉管隧道管节节段接头的竖向剪力键因差异沉降而损坏的可能性大。隧道被置于从浅到深的基槽里，在运营期，隧道上方会被 20m 厚的回淤覆盖（即深埋）。部分回淤在远期可能由于航道的规划而被再次挖除。而且，隧道下方的地层是沿着隧道纵向 0-30m 不等厚的软土。采用方法：半刚性管节。半刚性管节是一种节段式的管节结构。该结构利用节段接头端面的摩擦力抵抗（部分）剪力，从而加强节段接头的抗剪能力。足量摩擦力的保证是通过合理的设置纵向预应力钢筋，从而得到足够的节段接头的正压力。并且，当管节受到更不利的作用时，比如管节上覆荷载与地基刚度不均匀的不利组合，半刚性管节允许节段之间发生一定量的转动以使得管节结构能够通过纵向的变形来适应地基。由于保留了预应力筋，接头不容易张开，因此整体性得到了提高。

半刚性管节提高了节段接头的抗剪安全度，但是管节与管节之间的竖向锁定

(即管节接头)也是一个薄弱环节。本工程的竖向锁定采用后装的钢剪力键。虽然通过延迟管节接头竖向位移的锁定时间,能够降低竖向剪力键的受力。但因运营期的沉管隧道顶部会逐渐累积高达 21m 的土荷载,钢剪力键及其连接部位的混凝土墙体仍然易受到较大的荷载。采用方法:为了保护剪力键以及避免混凝土结构开裂,特别是临海侧的混凝土结构的开裂会带来钢筋锈蚀问题,提出在竖向钢剪力键之间设置记忆支座,保护管节接头部位的结构免受剪切破坏。通过合理地引导力的方向与分配力的大小来保护结构。它“记住”剪力键的竖向承载力,一旦该力被超过,支座将超出的部分导入结构正下方的地基而不是导入相邻结构的基础通过这种方式,记忆支座能够允许结构发挥其最大的效用,而不危及自身。

#### c) 沉管工厂化预制

工厂选择了距离隧址最近的桂山岛上废弃的采石场,并且采用厄勒隧道首创的工厂法来预制 33 个沉管管节。工厂被划分为生产、管理、生活三个区域,总占地面积 560000m<sup>2</sup>,员工 11200 名。

管节预制的速度需要与安装速度匹配,后者为每月 1 节。通过设置 2 条预制生产线平行作业,每 2 个月生产 2 节管节来与之匹配。生产线上的关键线路是钢筋绑扎、模板安装与混凝土浇筑。其中,钢筋绑扎工序控制,因此将它分拆为底板、侧墙、顶板三个单元以实现流水作业。

每个节段混凝土浇筑完成后下道工序是顶推,最终需要将重达 76000t 的管节向前整体顶推约 120m 以到达浅坞区。在管节的 4 道墙下方对应设置了 4 条轨道,创新地采用了多点支撑分散顶推方案。系统顶推速度达到 0.13m/min,轴线偏差控制在 5mm 以内。而且,在该预制厂首次实现了 5 节平面曲率半径 5500m 的曲线沉管管节的顶推。

舾装在浅坞区进行。深坞区可以存放 4 节沉管管节以调和实际预制速度与安装速度中必然存在的差异。浅坞与预制厂之间的滑移坞门为总重 750t 的钢结构。坞门的宽度约 100m,采用正三角形断面从而利用水压自稳。滑移作业周期 30-40 小时。深坞区的浮坞门为重力式结构,宽 60m、重 13000t。

沉管隧道的预制在桂山岛,安装在水上,隧道内部作业又是一个地方。因而存在空间上的不连续。同样的,时间上也有很多先后顺序需要遵守。

#### d) 沉管安装

工作步骤包括:浮运;系泊;用浮吊将整体式的最终接头结构下放至基床;接头两端的小梁伸出与相邻管节接触,从而形成一个水密腔;腔内排水;施工人员从隧道内焊接钢板与注浆(混凝土)实现永久连接。

出坞方案是利用坞口原有的山体掩护,基于坞口的流速观测,将管节置于观测流速最小的区域进行拖轮的连接。管节选在落潮的时候出坞,将出坞窗口的流速控制在 0.4m/s。

沉管管节系泊是管节沉放前的承上启下的一步。通过系泊让管节从自由状态重新回到受到缆绳的约束的状态。同时利用系泊的时间做好管节沉放的准备工作。这个工程的沉管管节的系泊是横流定位。本工程管节与安装船采用的安装前的系泊形式。单侧采用 4 根直径 cp65mm 的钢丝绳。系泊缆绳的伸缩可以通过操作安装船上的额定拉力 120t 的锚机控制。系泊缆绳的安装顺序取决于系泊时刻的海流方向。先安装一侧的缆绳可以起到抗流作用,系泊缆的抗流作用以及对管节位置的控制效果比拖轮更加安全。管节横流系泊的另一个保障是不抛锚 4 艘拖轮

在管节的四周待命。在海流超出预期时与系泊缆共同抗流，或者在系泊系统失效时仍然能控制管节。为避免即将安装的管节在系泊时碰撞到已安装的管节，管节系泊的位置距离已安装的管节留有约 50m 的净距，需要安装时再通过安装船上的绞车操控系泊缆移动管节。

发展了焊接止水与组装式的端封门，管节沉放时不仅监控与预测波流与天气，而且对管节的运动速度、位移与加速度进行了实时的监控，通过预先安装在管节内部的加速度仪采集数据并进行实时分析。管节的首端采用无线声呐定位，尾端采用测量塔定位，平面定位精度分别可以达到 10cm 与 5cm。此外，隧道内的长距离贯通测量精度达到 5cm。从而，基于上述精度以及隧道线形管理策略，E5 管节以后安装的 28 个管节实现了免精调。针对 E32-E31 管节接头的异常沉降创造了密闭腔压浆抬升管节的工法。

### 1.3 常见风险

#### a) 运送沉埋管过程中发生意外

沉管浮运主要包括出坞、浮运、转向区转向、系泊等内容，浮运航道总长约 12km，基槽内浮运最大距离约 3km，每节管节浮运有 3 次航道转换。管节浮运过程中受风力、潮汐、洋流、波浪等海洋环境影响，安全风险最大，对气象作业窗口的要求非常高。管节拖运的天然水深不足，所以管节只能在受限的航道中进行拖运。

现场位于珠江口航道运输最繁忙水域之中，属水上交通安全事故频发敏感区域。沉管隧道段位于珠江口的伶仃洋西部、大屿山以东水域，是进出广州港、深圳西部港区的水上通航大动脉，航线密集、通航船舶密度大、船舶种类复杂，几乎涵盖了所有船种。

据不完全统计，该水域每天来往的各类船舶达 4000 次以上，年约有 150 多万艘次船舶通航。施工阶段往来的施工船舶会利用或穿越现有航道，水上安全管理难度较大。并且，同时控制 12 艘船操控 76000t 的管节的难度也很大。一旦管节失控，加之该区域海上交通繁忙，不但工程损失大，而且对该区域的海上交通可能成为一个障碍物。

#### b) 沉埋管非受控沉没

本工程沉管隧道中间段的水下开挖基槽的高度达到 30m，这将带来两个风险。其一，槽内垂向水流现槽底流速甚至可能大于表层流速。这将导致管节安装横向错边，高于比预期。其二，回淤的速率较快，甚至发生一天内的骤淤。一方面是因为深槽，一方面是因为上游的采砂作业。厄勒海峡沉管隧道在施工中曾有一节管节因密封门破裂沉入海底而延误了工期。

#### c) 沉埋管封水门及接头失败受损

最终接头位置处于水下 27m，保证水密性是工程成败的关键。最终接头主体结构是钢混复合三明治结构，形体尺寸较大，结构复杂且外形轮廓不规则，内外侧加劲较多且焊接工作量大，构件易产生变形，导致制造精度难以控制；止水带安装面尺寸、位置与平整度要求极高，要求钢结构自防水。虽然钢结构（壳）内会浇筑混凝土，但是认为混凝土会收缩，不能依靠混凝土与钢结构的结合面来止水。在最终接头的制作过程中，受切割、加工、焊接等因素的影响，本体零件、板单元、分段、整体主尺度不可避免地产生实际尺寸偏差、放样尺寸的尺寸偏差和形状偏差。结构件顾存在组拼、转运、翻身等诸多姿态，结构变形难以控制。



为使实物各制造偏差和变形后形状能够达到标准要求,需对整个制作过程进行精度控制。两半楔形块滑移合体过程中,由于两侧构件为倒梯形,对两构件对中及水平相对位置精确度要求高,本体就位难度很大。厄勒海峡隧道的管节沉没过两次,其中一个为 13 号管节,水从端封门涌入管内,又从管顶的人孔喷射出来,隧道内所有的设备都被从管顶喷了出来。

#### d) 沉埋管对准失败及量测误差

岛头区沉管安装作业面狭窄、水文条件复杂。受成本等各方面因素影响,沉管隧道浮运临时航道宽度 280m,作业面狭窄,安装期间现场干扰因素较多。跨海高程控制测量和长距离跨海高程传递(6km)难度大。深水(45m)长距离(5.6km)条件的沉管水下高精度定位测控难度大。岛头效应产生的挑流现象严重影响岛隧结合部位置管节的沉放。

#### e) 沉埋管防水失效及发生龟裂

沉管是借用水之力的工程,利用水的浮力移动、利用水的重力下沉、利用水的推力连接,但是水能载舟,亦能覆舟。只要结构存在一点缺陷,水就能进入。渗水途径可以是结构的裂缝、接头的间隙、管节临时封门的管道。设计要确保这些情况不易发生,以及这些情况的诱导因素也不易发生(如基础不均沉降引起的结构开裂)。因此,对止水的重视,需要贯穿整个隧道的设计过程,包括基础、结构、接头、涂装与施工技术要求。

#### f) 海床不均匀沉陷

地基是深厚的软土层且不均匀,沉降规律复杂,沉管隧道基槽开挖对地基表层土的扰动以及回淤增加了不确定性。被扰动的土以及回淤形成的夹层与原状土比较而言属于极其软弱的土层。

该工程采用了整体式的最终接头新工法,整体式的最终接头结构虽然也有端封门,但是它的浮力相对于相邻的 E29、E30 管节很小。因而预计最终接头安装时对地基的压力是相邻沉管管节的 30 倍。由于基础的初始压力不在一个量级,地基刚度的差异也很大。这带来风险:在施工期,最终接头临时止水后需要从隧道内部实施永久的止水兼连接。这个转换过程需要半个月。差异沉降将导致永久连接实施过程中已经焊接的钢板变形,撕裂,如果差异沉降过大,甚至带来临时止水失效的重大施工风险。在运营期,隧道顶部将逐渐增加较大的回淤荷载,因地基刚度差异的存在,最终接头与相邻管节的永久连接部位会产生较大的内力。而该连接部位是整个隧道最薄弱的环节,因为相比其他部位,临时止水构造占了一部分主体结构的空间。

#### g) 海流或台风造成沉埋管位移及沟槽坍塌

管节系泊时,它的轴线方向与海流方向垂直,所以管节的迎流面积大,系泊时的最大流速可达到 0.8m/s。前文已述本工程沉管隧道中间段的水下开挖基槽的高度达到 30m。这使得槽内垂向水流观测发现槽底流速甚至可能大于表层流速。这将导致管节安装横向错边。该工程海底隧道的沉管段长 5.664km,这也是隧道基槽的长度。所以管节浮运到隧道上方后,取决于具体位置,可能还需要在隧道的基槽内拖运较长的距离。该区域海流方向与隧道基槽垂直,在基槽内拖运管节的迎流面积大因而姿态较难控制。

#### h) 海啸

珠江口拥有外伶仃洋海域独特的地理位置和典型的亚热带海洋性季风气候,

亚洲大陆的北部，南临热带海洋，气候温暖湿润，另类的欧亚大陆和热带海洋性气候的影响，该地区的气候复杂多变。现场受台风、热带气旋、短时雷暴等恶劣天气影响大。同时，南海夹在几个大地震带中间，环太平洋地震带、喜马拉雅地震带余脉等附近的多地震地区一旦发生海底地震都会影响中国南海，发生海底地震引发海啸。

## 2. 风险区块 B——人工岛

### 2.1 人工岛基本情况

用于桥、隧道转换的东、西人工岛是港珠澳大桥全线设计与施工展开的起点和基石，其建设所在地处于离岸超过 20km 的外海,水深深、大波浪、多台风、30~50m 厚的深厚软基等恶劣自然条件给人工岛的建设带来超大难度。西人工岛靠近珠海侧，东接海底沉管隧道西接桥，东人工岛靠近香港侧，西接隧道东接桥，两岛间平面距离约为 5.6km。人工岛平面基本呈椭圆形，岛长 625m，横向最宽处约 183m，面积约 10 万平方米，工程区域天然水深 8.0~10.0m，岛内回填标高为+5.0m。

### 2.2 人工岛施工流程

东、西人工岛岛壁采用直径 22m 深插式钢圆筒及副格弧形钢板插入地基不透水层形成岛壁围护结构。钢圆筒沿人工岛岸壁前沿线布置，西人工岛圆筒个数为 61 个，东人工岛 59 个，圆筒间插入 2 片弧形钢板通过宽榫槽与钢圆筒连接形成止水副格仓。通过振沉系统将钢圆筒沉入海中，插入泥面 21 米深，人工岛钢圆筒及副格振沉完成后，为确保结构整体稳定，在圆筒及副格仓内及时采用中粗砂进行回填。在钢圆筒结构围闭过程中，持续向岛内抛填中粗砂形成陆域。施工顺序为：钢圆筒振沉——圆筒及副格内回填——岛体围闭前回填——岛体围闭后抛填——陆上回填至-5m 高程——施打塑料排水板及降水井——岛内分层回填至 5m 高程。



图 7 人工岛



## 2.3 人工岛常见风险

Natural Hazard	Risk stemming from the Site	Risk stemming from Design Activity	Risk stemming from Construction Activity
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Earthquakes</li> <li>- Active faults</li> <li>- Typhoons</li> <li>- Tsunamis</li> <li>- Weather</li> <li>- Flooding</li> <li>- Tides/Currents</li> <li>- Submarine landslide</li> <li>- Scour and erosion</li> <li>- Sedimentation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compressible soils</li> <li>- Collapse of trench slopes</li> <li>- Seismicity due to change in loading conditions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insufficient ground investigation</li> <li>- Robustness of design</li> <li>- Appropriate risk management process</li> <li>- Competence of designer</li> <li>- Appropriate instrumentation and monitoring</li> <li>- Construction programme</li> <li>- Selection of plant/equipment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Competence of contractor</li> <li>- Appropriate health and safety procedures</li> <li>- Poor workmanship</li> <li>- Appropriate quality control procedures</li> <li>- Lack of emergency preparedness</li> <li>- Incorrect use of plant/equipment</li> <li>- Environmental accident (e.g. pollution)</li> <li>- Incorrect sequencing of work</li> <li>- Flooding due to failure of dewatering</li> <li>- Ship collision</li> </ul>

图 8 人工岛风险矩阵

## a) 持续不均匀沉降

人工岛工程地层主要分布四大层，第一大层为淤泥及淤泥质土层，该层含水量高、抗剪强度低、压缩性高、渗透性差，层厚 20-30m。第二大层为粉质黏土及黏土层，呈软塑-可塑状。第三大层为粉质黏土、黏土层以及粉细砂和中砂，粉质黏土及黏土呈可塑-硬塑状。第四大层为黏土和粗砾砂组成，其中黏土层仅分布于东岛，该黏土分布深且厚，若黏土层受到挤压，会呈现微微的波浪形，出现土层液化，导致地基持续不均匀沉降，影响人工岛护岸结构稳定性。另外，在钢圆筒附近，由于钢圆筒的存在，不均匀沉降过大，会造成跨越钢圆筒的钢筋混凝土结构和素混凝土结构开裂。岛隧结合段不均匀沉降导致隧道管节之间倾角变大，致使隧道自身存在漏水风险。近年来因海底地基沉陷导致上层建筑下沉的案例时有发生，如日本关西机场。

## b) 钢圆筒发生变形和位移

钢圆筒围护结构在筒内及岛内回填过程中，受力工况较为复杂，钢圆筒的直径过大，筒壁很薄，圆筒顶部沿圆周一圈筒壁可能会因波浪、土压力或周围钢圆筒的挤压造成的局部变形、结构沉降位移、倾斜或深层位移。同时地基的沉降会引起巨大的负摩擦力作用在钢圆筒岛内侧筒壁上，使局部钢圆筒顶部形成一个大的水平位移，影响整个围护结构的稳定性。

## c) 防波堤失效或破坏

防波堤主要是用来抵御波浪的侵袭，此外还可阻拦泥沙造成回淤。根据资料显示，西人工岛防波堤顶部标高，南侧 8.000m，北侧 6.000m；东人工岛防波堤顶部标高，南侧 7.000m，北侧 6.200m。工程利用扭转的工字型字块放置在人工岛的外围，用来抵御较大的波浪，减少海浪对岛的破坏。珠江口为标准的海洋性气候，每年平均约 3 次台风，人工岛施工跨 3-4 个台风季，人工岛前沿波浪动力强，台风期可能产生较大的越浪量，导致越浪发生的概率会增加，危及人工岛的施工安全。

## d) 运送填料过程中发生船撞等意外

钢圆筒及副格振沉完成前，抛填作业船舶即在施工现场待命，确保钢圆筒副格振沉验收完成后及时回填。抛填作业需保证在 3h 之内完成。为减少船舶重复定位造成抛填点位变化及碰撞钢圆筒风险，第 1 船驻位后不再移锚，其余运砂船直接向第 1 艘皮带船内补给中粗砂，皮带船向抛填船舶补给的过程中，两船之间可能会发生船舶碰撞。

### 3. 风险区块 C-悬索桥

	全长	塔高	跨距
青州航道	930m	188m	110+126+ <b>458</b> +126+110m
九洲航道	774m	110m	129+ <b>258</b> + <b>258</b> +129m
江海直达船航道	693m	135m	85+127.5+ <b>268</b> +127.5+85m

图 9 悬索桥基本情况

#### 3.1 锚碇基坑施工风险

基坑工程施工周期长，常需经历多次降雨、周边堆载、振动、施工失当等许多不利条件，故深基坑工程事故时有发生。在软土、高水位及其他复杂场地条件下开挖基坑，发生事故的几率更高。

#### 3.2 桥塔施工风险

地质条件是决定基础形式的主要条件，对基础施工风险有直接的影响。桥塔基础形式主要有桩（柱）基础、沉井、沉箱基础等形式。钻孔灌注桩基础，除深度很浅的挖孔桩外，一般深度较大，易出现坍孔、卡钻、扩孔与缩孔、断桩等事故。

#### 3.3 主缆施工风险

包括猫道的风振风险和主缆架设风险。其中猫道的风振风险指猫道由于质量小、刚度柔的特点，容易遭受大风袭击，造成重大安全事故。而主缆架设风险指主缆架设施工的风险主要是索股架设中经常出现的“呼啦圈”、扭转、散丝及索股表面划伤等问题，对索股安装质量和安全造成不利影响。

### 4. 风险区块 D-桥梁工程

#### 4.1 桥梁工程概况

港珠澳大桥的桥梁工程包括青州、九州、江海直达船三道航道桥，浅水区、深水区两座非通航孔桥，东、西人工岛结合部桥，以及珠澳口岸连接段桥梁，全长 22.9 千米，桥梁工程平面位置示意图如下所示：

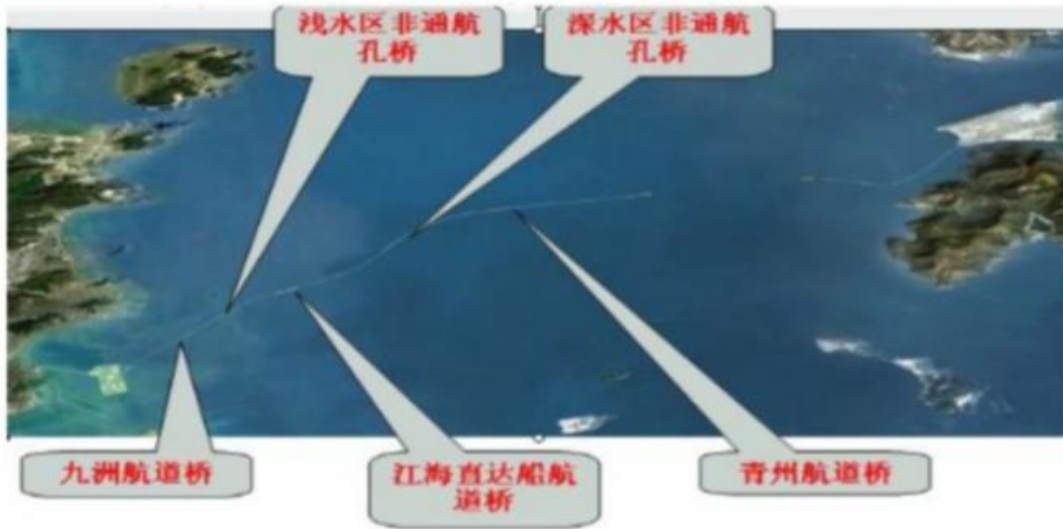


图 10 港珠澳大桥桥梁工程平面示意图

## 4.2 桥梁工程施工关键技术

### a) 航道桥

该部分由青州航道桥、九州航道桥和江海直达船航道桥组成。钢管复合桩施工采用打桩船沉桩，桩锤选用液压锤。打桩船施打钢管桩至设计深度；采用轻型优质环保泥浆护壁、回旋钻气举反循环成孔工艺；终孔后，下放钢筋笼及导管；采用水上搅拌船灌注水下混凝土。

承台采用有底双壁钢套箱施工工艺。钢套箱浮吊整体安装，封底混凝土浇筑。套箱抽水后，割除钢护筒、清理桩头进行承台施工，分层浇筑承台及塔座混凝土。承台施工完毕后及时进行承台防撞套箱的安装。

桩基及承台混凝土采用搅拌船浇筑。九州航道桥水深较浅，基础施工前先进行基地挖泥。

### b) 非通航孔桥

深水区非通航孔桥 110m 跨整墩整幅钢箱梁连续梁桥、浅水区非通航孔桥 85m 跨整墩分幅组合梁连续梁桥两部分采用钢管复合桩，打桩船施打钢管桩至设计深度后，采用轻型优质环保泥浆护壁、回旋钻气举反循环成孔工艺，利用水上搅拌船浇筑填芯混凝土。墩身采用在预制场集中预制，驳船运输至架设吨位处，利用大型浮吊起吊安装。

预制承台为施工承台在预制场采用高位台座预制、承台运输采用驳船、现场采用相应吨位大型浮吊吊起安装。在支撑定位桩顶部安装预制承台的定位型钢，将带有钢围堰的预制承台（承台上带一段预制墩身至+8.000m 高程）沉放至预埋在支撑定位桩顶混凝土内的型钢上。低潮位时抽干承台内的水，处理桩头并接长桩顶钢筋，连续浇筑墩身空腔内的填芯混凝土。

东西人工岛结合部非通航孔桥的承台采用围堰现浇施工，将围堰运至墩位，并将其沿着钢护筒沉放就位，浇筑封底混凝土，等封底混凝土达到设计强度后抽干围堰内的水。切除封底以上钢护筒，破桩头，绑扎承台钢筋，浇筑承台混凝土，承台混凝土浇筑按大体积混凝土控制。

### c) 连接桥部分

珠澳口岸人工岛连接桥的桩基施工采用栈桥配合平台方法施工钻孔灌注桩，

钻孔工艺采用泥浆护壁、气举反循环成孔工艺，水下混凝土灌注采用导管法。承台采用放坡开挖，配以井点降水施工。墩身采用翻模施工，履带吊机配合。墩身采用分节翻模施工。

#### 4.3 桥梁工程常见风险

##### a) 台风风险

港珠澳大桥所处的伶仃洋海域是台风多发地，每年南海的台风均会经过这片海域，且每年超过 6 级以上风速的时间接近 200 天，韧性强的钢梁会在风力的作用下摆动，一旦造成频率相同，则会产生共振，进而造成桥身断裂。

##### b) 氯盐风险

实验表明，钢筋混凝土在氯盐的作用下会发生锈蚀，或原件材料不良，最后可能导致混凝土开裂甚至剥落，因此工程师需要找到抵抗氯盐锈蚀桥面的技术手段，我们也需要将该风险点考虑到保险方案中。

##### c) 设计风险

港珠澳大桥的桥梁部分跨海部分全长 22.9 千米，桥梁的结构设计对于桥梁建设起着关键作用，出现结构设计不合理、计算数据不精确、结构荷载不足、耐久性设计不当、地基基础设计失误等问题，这些技术性失误都会导致建筑工程质量出现严重问题。

##### d) 技术操作风险

由于不同桥段施工方案不同，整个桥梁工程的建设过程比较复杂多样，施工工艺有所差异，可能造成桥梁基础不均匀塌陷，桥身断裂，围堰破坏或失效漏水等事故，这对于项目整体风险的防控来说是一大挑战。

### 三、港珠澳大桥工程风险保障方案

#### 1. 建筑工程一切险附加第三者责任险保险计划

##### 1.1 保险期限

###### 1.1.1 建筑期物质损失及第三者责任保险

本公司的保险责任自被保险工程在工地动工或用于保险工程的材料、设备运抵工地之时起始，至工程所有人对部分或全部工程签发完工验收证书或验收合格，或工程所有人实际占有或使用或接收该部分或全部工程之时终止，以先发生者为准。但在任何情况下，建筑期保险期限的起始或终止不得超出本保险单明细表中列明的建筑期保险生效日或终止日。

不论安装的被保险设备的有关合同中对试车和考核期如何规定，本公司仅在本保险单明细表中列明的试车和考核期限内对试车和考核所引发的损失、费用和责任负责赔偿；若保险

设备本身是在本次安装前已被使用过的设备或转手设备测自其试车之时起，本公司对该项设备的保险责任即行终止。

上述保险期限的展延，须事先获得本公司的书面同意，否则，从本保险单明细表中列明的建筑期保险期限终止日起至保证期终止日止期间内发生的任何损失、费用和责任，本公司不负责赔偿。

###### 1.1.2 保证期物质损失保险

保证期的保险期限与工程合同中规定的保证期一致，从工程所有人对部分或



全部工程签发完工验收证书或验收合格，或工程所有人实际占有或使用或接收该部分或全部工程时起算，以先发生者为准。但在任何情况下，保证期的保险期限不得超出本保险单明细表中列明的保证期。

## 1.2 保险责任

### 1.2.1 建筑工程保险责任

在保险期限内，因保险单除外责任以外的任何自然灾害或意外事故造成的物质损坏或灭失（以下简称“损失”），按保险单的规定负责赔偿。

对经保险单列明的因发生上述损失所产生的有关费用，亦可负责赔偿。

对每一保险项目的赔偿责任均不得超过本保险单明细表中对应列明的分项保险金额以及本保险单特别条款或批单中规定的其他适用的赔偿限额。但在任何情况下，本公司在本保险单项下承担的对物质损失的最高赔偿责任不得超过本保险单明细表中列明的总保险金额。

### 1.2.2 第三者责任险保险责任

在保险期限内，因发生与保险单所承保工程直接相关的意外事故引起工地内及邻近区域的第三者人身伤亡、疾病或财产损失，依法应由被保险人承担的经济赔偿责任，按规定负责赔偿。

对被保险人因上述原因而支付的诉讼费用以及事先经书面同意而支付的其他费用，亦负责赔偿。

对每次事故引起的赔偿金额以法院或政府有关部门根据现行法律裁定的应由被保险人偿付的金额为准。但在任何情况下，均不得超过保险单明细表中对应列明的每次事故赔偿限额。在保险期限内，在保险单项下对上述经济赔偿的最高赔偿责任不得超过保险单明细表中列明的累计赔偿限额。

## 1.3 保险金额

### 1.3.1 保险单明细表中列明的保险金额应不低于：

（1）建筑工程——保险工程建筑完成时的总价值，包括原材料费用、设备费用、建造费、安装费、运输费和保险费、关税、其他税项和费用，以及由工程所有人提供的原材料和设备的费用；

（2）施工用机器、装置和机械设备——重置同型号、同负载的新机器、装置和机械设备所需的费用；

（3）其他保险项：由被保险人商定的金额。

### 1.3.2 若被保险人是以保险工程合同规定的工程概算总造价投保，被保险人应：

（1）保险项下工程造价中包括的各项费用因涨价或升值原因而超出原保险工程造价时，必须尽快以书面通知，据此调整保险金额；

（2）在保险期限内对相应的工程细节作出精确记录，并允许在合理的时候对该项记录进行查验；

（3）若保险工程的建造期超过三年，必须从保险单生效日起每隔十二个月申报当时的工程实际投入金额及调整后的工程总造价，将据此调整保险费；

（4）在保险单列明的保险期限届满后三个月内申报最终的工程总价值，据此以多退少补的方式对预收保险费进行调整。

## 1.4 特色定制条款

### 1.4.1 设计师风险扩展条款

（1）赔偿范围：赔偿被保险财产因设计错误、铸造/原材料缺陷或工艺不善



原因引致其他被保险财产的损失。

(2) 每次事故赔偿限额：人民币 5 亿元

(3) 累积赔偿限额：总保险金额的 5%

#### 1.4.2 内陆/海上运输扩展条款

(1) 赔偿范围：本合同工程所需材料、物料、预制件等从中华人民共和国境内任何供货地点运到施工现场或这类财产在施工现场运输、拖航及装卸过程中的损失。

(2) 每次事故赔偿限额：人民币 2 亿元

#### 1.4.3 等待费用条款

(1) 前提：保险事故发生之后

(2) 赔偿范围：为了使参与维修工作的船舶、船只、作业设备避免恶劣天气（包括台风等）而发生的等待费用

(1) 每次事故赔偿限额：人民币 5000 万元

#### 1.4.4 额外工作条款

(1) 前提：由于保险事故直接引起的被保险财产的安置或定位错误；

(2) 赔偿范围：必须发生的定位、再定位、下沉和固定被保险财产而发生的费用。

(3) 每次事故赔偿限额：人民币 5000 万元

#### 1.4.5 海上取消费用条款

(1) 前提：由于保险事故直接引起的，即便该事故造成的物质损失低于免赔额；

(2) 赔偿范围：工程合同项下各类海上船舶和安装设备的取消费用以及为完工而进一步发生的雇佣海上船舶和作业设备的费用；

(3) 每次事故赔偿限额：人民币 5000 万元

### 1.5 免赔率

适用风险类别	免赔额/免赔率
地震、海啸	人民币2000万元或损失金额的10%，以高者为准，最高不超过人民币5000万元
风暴、暴雨、台风、洪水、地面下陷下沉、地崩	人民币1000万元或损失金额的10%，以高者为准，最高不超过人民币2500万元
设计师风险	人民币1000万元或损失金额的10%，以高者为准，最高不超过人民币2500万元
其他风险	人民币1000万元或损失金额的10%，以高者为准，最高不超过人民币2500万元
第三者财产损失	人民币50万元
第三者人身伤害/死亡/疾病	无免赔

图 11 免赔率的设定

## 2. 人身意外保险保险计划

为保障工程施工过程中每一员工的安全，本方案包括为员工统一投保的人身

## 意外保险保险计划

### 2.1 保险责任

在保险期间内被保险人遭受意外伤害，并因该意外伤害导致身故、残疾或烧伤的，保险人依照下列约定给付保险金，且给付各项保险金之和不超过该被保险人的保险金额。

#### 2.1.1 身故保险责任

在保险期间内被保险人遭受意外伤害，并自意外伤害发生之日起 180 日内因该意外伤害身故的，保险人按保险金额给付身故保险金，对该被保险人的保险责任终止。

被保险人因遭受意外伤害且自该意外伤害发生日起下落不明，后经人民法院宣告死亡的，保险人按保险金额给付身故保险金。但若被保险人被宣告死亡后生还的，保险金受领人应于知道或应当知道被保险人生还后 30 日内退还保险人给付的身故保险金。

被保险人身故或被宣告死亡前保险人已给付约定的残疾、烧伤保险金的，身故保险金应扣除已给付的保险金。

#### 2.1.2 残疾保险责任

在保险期间内被保险人遭受意外伤害，并自该意外伤害发生之日起 180 日内因该意外伤害造成残疾程度之一的，保险人按该表所列给付比例乘以保险金额给付残疾保险金。如第 180 日治疗仍未结束的，按当日的身体情况进行残疾鉴定，并据此给付残疾保险金。

(1) 被保险人因同一意外伤害导致一项以上残疾时，保险人给付各项残疾保险金之和，但给付总额不超过保险金额。不同残疾项目属于同一肢时，仅给付其中给付比例最高一项的残疾保险金。

(2) 被保险人如在本次意外伤害之前已有残疾，保险人按合并后的残疾程度所对应的给付比例给付残疾保险金，但应扣除原有残疾程度所对应的残疾保险金。

### 2.2 保险金额

每一被保险人的保险金额是保险人承担给付该被保险人保险金责任的最高限额。

保险金额由投保人、保险人双方约定，并在保险单中载明。

若设有每次意外伤害限额的，保险人对所有被保险人于任一次意外伤害中实际给付的保险金的总额不超过保险单所载的每次意外伤害限额。

每一被保险人的保险金额和每次意外伤害限额一经确定，在保险期间内不得变更。

### 2.3 保险期间

同建筑工程一切险附加第三者责任险保险计划。

保险期间自施工工程被批准正式开工，并且投保人已交付保险费的次日（或约定保险期间开始之日）零时起，至公司合同规定的工程竣工之日止。

## 3. 再保安排

在提供风险管理服务的整个过程中，将按照制定的再保险计划，与大型再保险公司（首席）建立长期的合作关系，制定了完整的合作计划，在充分考虑该项

目本身特定风险的前提下，有针对性地进行风险分散与控制工作。

表 1 工程保险安排

项目	总计 (1)	自留额 (2)	成数合约再保承 保能力 (3)	溢额合约再保承 保能力 (4)	比例临分再保 承保能力 (5)
<b>第一部分：首席承保</b>					
金额	人民币:139 亿元	人民币:69.5 亿元	人民币:27.8 亿元	人民币: 13.9 亿 元	人民币: 27.8 亿元
份额	<u>50.0</u> %	<u>25.0</u> %	<u>10.0</u> %	<u>5.0</u> %	<u>10.0</u> %
<b>第二部分：共保承保</b>					
金额	人民币: 36.14 亿 元	人民币: 33.36 亿 元	人民币:27.8 亿元	人民币: 22.24 亿 元	人民币: 19.46 亿元
份额	<u>13.0</u> %	<u>12.0</u> %	<u>10.0</u> %	<u>8.0</u> %	<u>7.0</u> %

表 2 比例临分再保安排说明

序号	再保险公司	比例临分再保份额
1	瑞士再保险	5%
2	通用再保险	3%
3	慕尼黑再保险	2%

#### 4. 风险管理计划

总体上看，具体工作为：每年 2 次查勘、两次培训（高峰和低峰差异）；查勘与培训内容配合施工进度设计；查勘前进行风险分析、整理风险追踪事项；审查紧急应变计画适合度；与现场工程师进行问题讨论、提供国际上最佳施工范例及参考损失案例；依据现场查勘情形提出风险改善建议，并建立风险记录簿，协助业主进行风险跟踪；提供风险查勘报告。

##### 4.1 建设前期：风险的识别与分析

在该工程项目施工前期，可以联系经验丰富的工程风险分析师对港珠澳大桥工程项目相关资料进行全面、深入的研讨，并进行全面的风险识别，通过科学有效的方法分析风险，及时记录，向现场管理者警示存在的潜在危险；然后制定相应方案应对风险。

##### 4.2 建设中期：技术协助和咨询顾问

港珠澳大桥工程项目建设过程中，可以要求工程风险管理团队提供必要的技术协助以及咨询服务，及时将项目进展过程中存在的风险与项目负责人进行沟通，并给出合理的解决方案。

#### 4.3 建设后期：协助维持项目安全性

对项目建设完成后的风险，可要求工程风险管理团队将根据主要面临的环境进行重新评估，并为业主提供全面而完整的最佳防范方案，以减少项目建成后的风险和损失。