

广深港高速铁路深港跨境隧道之设计与施工管理

阮文忠

1. 广深港高铁简介

广深港客运专线是北京—武汉—广州—深圳—香港客运专线的南段，起自武广客运专线终点广州南站，向东经番禺、东莞至深圳，出深圳北站后线路以隧道形式进入深圳市区，在深圳市中心南侧的益田路下设福田站，出福田站后沿益田路下至福田保税区，然后下穿深圳河接香港段，至整条线路的终点站—西九龙站。

广深港客运专线广州至深圳北段线路全长 104km，设计速度目标值 350km/h，共设广州南、东涌、虎门、光明、深圳北 5 个车站；本段于 2005 年 12 月开工建设，计划于 2011 年初建成运营。

深圳福田站至深圳河线路全长 11.4km，设计速度目标值 200km/h；全段由益田路隧道、福田站和皇岗隧道组成，益田路隧道及皇岗隧道北段均采用单洞双线隧道。福田站预计在 2013 年建成投入使用。

香港段全长约 26km，设计速度目标值 200km/h，线路过界后下穿深圳河、米埔自然保护区、林村郊野公园及大帽山郊野公园至九龙北部，并于林村郊野公园、大帽山郊野公园间设石岗紧急救援站，再经九龙市区至终点西九龙车站，香港段全段为隧道，西九龙站也建于地下。香港段预计于 2015 年建成并投入运营。



图 1 广深港高速铁路线位图

深港连接段隧道是北起皇岗公园，南至香港米埔的区间隧道，全长约 3.8km，为内地与香港工程建设的过渡段，是本项工程重要的部分。由于本段隧道下穿深港分界，能否顺利建设实施将对整条线的贯通有很大的影响。在香港段初步设计启动后，港方与内地地方就深港连

接段隧道的进行了深入的研究并召开了多次技术小组会议，对广深港客运专线的连接段平面及纵断面衔接、隧道设计方案、消防性能化设计、运营安排、口岸设置等进行了深入的协商和探讨，并在上述问题上基本达成共识。鉴于深港连接段隧道分属不同的投资主体及运营单位，但在隧道设计方案、施工组织上相互关联，因此对于本段工程，做了专项的研究。

本文着重对深港连接段的单洞及双洞隧道的选择、变线间距过渡段位置的设定、矿山法段的设置、平纵断面的选取及施工组织几方面进行了探讨和论述。

2. 深港连接段隧道方案比选

2.1 研究范围

为全面、充分考虑研究内地段与香港段的隧道衔接方案，结合内地段福田站已经完成的施工图设计以及香港段基本选线方案，深港连接段的研究范围为福田站南端工作井至香港境内第一个工作井—米埔工作井，长约 5.4Km 的范围。



图 2 深港连接段工程位置图

2.2 地面建设环境

本段线路沿益田路下穿越深圳市区及香港湿地保护区，对隧道工程可能有影响的重要建筑物及区域：

(1) 益田路两侧建筑

皇岗公园以南益田路两侧分布了皇岗公园人行天桥、益田豪园居（混凝土框架结构，31 层）、国商广场（混凝土框架结构，30 层）、帝港大厦（29 层）、福田

保税区综合楼（22层）等建筑。经调查了解，上述建筑物均采用桩基础，且桩底进入弱风化岩层不小于1m。

（2）福田保税区三号桥

福田保税区三号桥是益田路上跨广深高速进入福田保税区的立交桥。该桥主桥部分采用V型刚构，跨越广深高速公路。全桥基础采用直径550mm的预应力管桩，设计桩尖进入强风化层1m。桥梁桩基设计最深为北侧5号墩，设计桩底标高-28.8m，实际施工约-24.73m。

（3）福田保税区

福田保税区位于福田区深圳河北侧，于1991年5月28日经国务院批准设立，1993年2月18日隔离围网设施通过海关总署验收。围网面积为1.35平方公里。现由深圳保税区管理局封闭管理。

（4）深圳河

深圳河约宽180米，河床标高约-5m，水深5至8m，深圳河的主要作用为排放雨水，深圳河两岸间为禁区，

出入需有特别的许可。

（5）米埔湿地保护区

香港米埔自然保护区占地380公顷，为西伯利亚候鸟飞往澳大利亚之间最后一个陆地，有着丰富的动植物资源。香港政府1976年宣布米埔是一个“具有特别科学价值的地区”，1978年起开始限量控制香港居民进入该区域，并且在长达20年的时间里，开始有计划地居民外迁。1995年米埔自然保护区正式列入国际重要湿地保护名录。米埔自然保护区内的任何工程建设均需严格遵循香港政府和世界自然基金会的相关准则。

2.3 工程限制条件

按照已经完成的施工图，福田站前后区间均采用单洞双线的隧道断面。香港段根据前期的研究情况及相关法律法规的要求采用双洞单线的断面形式，为满足这一要求，需在深港连接段合适的位置设置线间距变化段，衔接单洞隧道向双洞隧道的转变。

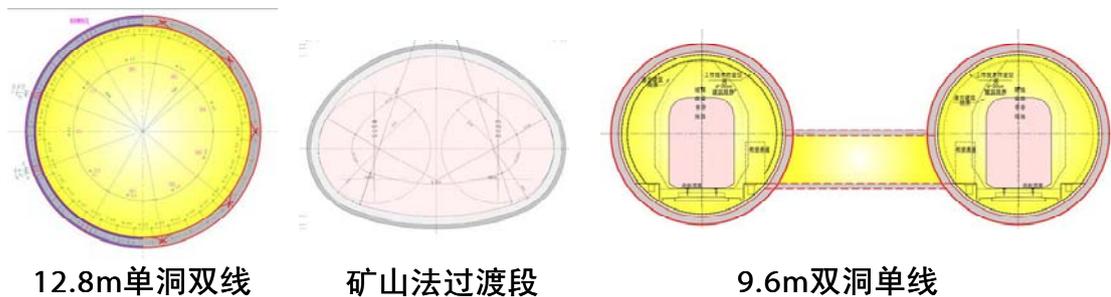


图3 连接段隧道断面形式

2.4 深港两地坐标控制网联测

本条铁路线下穿深港分界，内地段设计采用的是国铁坐标，香港段使用的是香港坐标，而广深港在深圳境内需与深圳轨道网络和相关市政系统驳接，为了保证设计与建设的整体性与一致性，需对相关各坐标系进行联测。在两地开始进行对接方案研究之初，即展开了深港两地坐标系联测，推算出了深圳坐标与国家54坐标、深圳56高程与国家85高程系统、香港坐标高程系统的对应关系。为设计方案的确定和施工建设取得了基础资料。

2.5 深港连接段隧道平面设计

本段线路在平面设计的主要需要考虑以下控制因素：

- （1）福田站线路布置；
- （2）益田路两侧高层建筑；
- （3）福田保税区三号桥；
- （4）米埔湿地保护区；
- （5）加州豪园住宅区。

单洞双线变为双洞单线中间的线间距变化段，一般采用矿山法或明挖法施工，故设置地面条件受到一定的

影响。从工程建设环境及地质条件看，香港段深圳河以南为米埔湿地保护区，已列入国际重要湿地保护名录。在区域内的任何工程建设均需严格遵循香港政府和世界自然基金会的相关准则。考虑到在保护区内设置矿山法或明挖法变线间距段较困难，故重点研究在福田站至深圳河段区间设置变线间距段的技术条件。

2.5.1 变线间距段设置的原则

由于隧道基本位于益田路下，采用明挖法施工对交通及市民的出行影响较大，故变截面段隧道需采用暗挖矿山法施工合适。考虑到隧道施工及运营安全的前提下，具体位置选择还需考虑以下因素：

(1) 隧道距周边建筑物有足够的距离，隧道

施工不会影响建筑物安全；

(2) 地层地质条件较好，满足大截面隧道开挖的条件，隧道施工不会影响地表道路、管线及其它构筑物的安全；

(3) 工作井位置应满足对城市交通影响小、市民生活及环境影响小的条件，同时应有满足施工需要的施工场地。

根据以上条件，比较适合设置变线间距段位置有皇岗公园、福田保税区等两个方案。其中益田路侧皇岗公园附近呈丘陵地貌，为公共用地，地表基本无建筑物，地质条件较好；福田保税区前广深高速公路两侧绿地也具有较好场地条件。



图 4 深港连接段沿线主要控制建筑

2.5.2 皇岗公园变线间距方案

线路出福田站后以直线沿益田路前行，并下穿滨河大道益田路立交桥。在福民路之前，线路通过调整曲线半径，在皇岗公园前线间距由 4.4m 逐渐增大，在福田保税区三号桥段线路基本从桥梁两侧通过，该段线间距最大为 31.4m。进入福田保税区后，线路在红棉路下逐渐靠近路中，最后以 19.0m 线间距下穿深圳河，通过米埔湿地保护区后到达加州豪园附近的米埔工作井。

2.5.3 福田保税区过渡方案

福田保税区位于广深高速公路南侧至深圳河边，线路穿过的福田保税区内道路为保税区内道路红棉路，交通流量较小，道路宽 22m，两侧建筑物较少，除广深高速公路南侧常平商务大厦（40 层）外，均为仓储为

主的 8 层及以下建筑物，左右侧建筑物最近距离 41m，并且部分路侧为绿化区和发展储备用地。

2.5.4 变线间距位置比较

(1) 矿山法施工段施工难度

皇岗公园变线间距方案矿山法施工长约 500m，隧道主要位于花岗岩中风化地层；福田保税区过渡方案矿山法施工长度约为 640m，隧道周边地层复杂，周边地层主要为全风化花岗岩、中风化花岗岩地层。从地质条件看皇岗公园段过渡方案施工难度及风险较小，皇岗保税区过渡方案施工难度及风险较大。

(2) 对周边交通的影响

对城市交通的影响主要表现为工作井的设置，皇岗公园段过渡方案工作井位于益田路左侧皇岗公园内，占

用益田路部分非机动车道,不会对益田路交通有大的影响;皇岗保税区过渡方案工作井位于福田保税区大门前方的上下桥路口,该工作井对保税区的交通有一定的影响。

(3) 对地面建筑物的影响

一般而言,矿山法施工较盾构法施工对地面环境影响大,故以上方案的比较主要针对矿山法变截面隧道。皇岗公园段过渡方案地面为益田路,道路两侧较开阔,无重大地面建筑。福田保税区过渡方案变截面隧道位于封闭管理的福田保税区内,隧道施工时地面人员疏散等需与福田保税区的管理单位海关进行协调,从以往深圳市其它工程实施的情况看,保税区内的相关协调难度较大。

经以上比较分析,皇岗公园变线间距满足隧道周边地质条件好、施工难度较小、地面无重大既有建筑物、施工风险相对可控等优点,因此,推荐在皇岗公园设置工作井,并在工作井以南采用矿山法完成过渡段的方案。

2.5.5 方案论证及结论

2008年6月,受香港铁路公司和广深港客运专线有限公司邀请,由来自内地及香港的专家组,对广深港客运专线深港连接段隧道对接方案进行了咨询,与会专家根据工程实际、相关法律及技术规范的情况,为降低施工难度和工程风险,建议深港对接段隧道采用内地皇岗公园附近变线间距的双洞单线设计建设方案。

2.6 深港连接段隧道纵断面设计

2.6.1 控制因素

根据沿线规划、已经完成的北段设计和盾构法隧道施工要求,过渡段隧道纵断面设计主要由以下因素控制:

(1) 福田站控制标高;

(2) 福田保税区三号桥。隧道通过该桥时无法从平面上完全绕避,设计采用从桩基下穿通过。隧道下穿桥梁桩基时最小基岩覆土厚度不宜小于 $0.5D$ (D 为衬砌外径);

(3) 盾构法施工的要求。盾构机在“上软下硬”或

花岗岩球状风化等地层掘进时存在较大困难,隧道应尽量处于均一地层之中;

(4) 矿山法隧道施工要求。为保证矿山法隧道施工安全,减少施工期风险,矿山法隧道应尽量位于稳定基岩地层,且洞顶应有安全的基岩覆盖厚度;

(5) 根据香港相关劳工法律法规,人员施工时工作环境气压值一般情况下不得超过 0.34MPa 。根据本工程隧道断面布置情况来看,对应轨面标高为地下水位以下 35.39m 。本项目勘察地下水位及深圳河水位均约为 2.0m ,深圳河轨面控制标高为 -33.39m 。

2.6.2 纵断面设计方案比较

根据以上控制因素进行了深埋方案、浅埋方案及内地深埋香港浅埋方案等三个纵断面方案的比较。

(1) 深埋纵断面方案

该方案线路出福田站下坡,矿山法变截面隧道全部位于弱风化花岗岩地层,福田站至皇岗公园工作井间盾构隧道及深港连接盾构隧道位于软硬不均地层的长度分别为 440m 、 452m 。深港分界处隧道轨面标高 -44.4m ,香港段隧道均位于W4全风化地层中。

(2) 浅埋隧道方案

浅埋方案纵断面设计的主要控制因素是香港法律要求工作气压条件。本次设计以轨面标高不低于 -33.39m 控制。在此条件下尽量加大矿山法隧道埋置深度。

福田站至皇岗公园工作井间盾构隧道及深港连接盾构隧道位于软硬不均地层的长度分别为 533m 、 755m 。深港分界处轨面标高为 -25.331m ,香港段隧道大部分位于W4全风化地层中,部分地段隧道顶部位于粗砂、圆砾、卵石地层。

(3) 内地深埋香港段浅埋方案

该方案在出福田站后下坡,在到达福田保税区三号桥前达到纵坡最低点,以尽量避开桩基为原则,在过深圳河后上坡接入米埔工作井。深港分界处隧道轨面标高 -33.97m 。

该方案单洞双线盾构隧道穿越软硬不均段长度和深埋方案一致,内地段双洞单线盾构隧道穿越半岩半土

软硬不均地层长度为 660m。

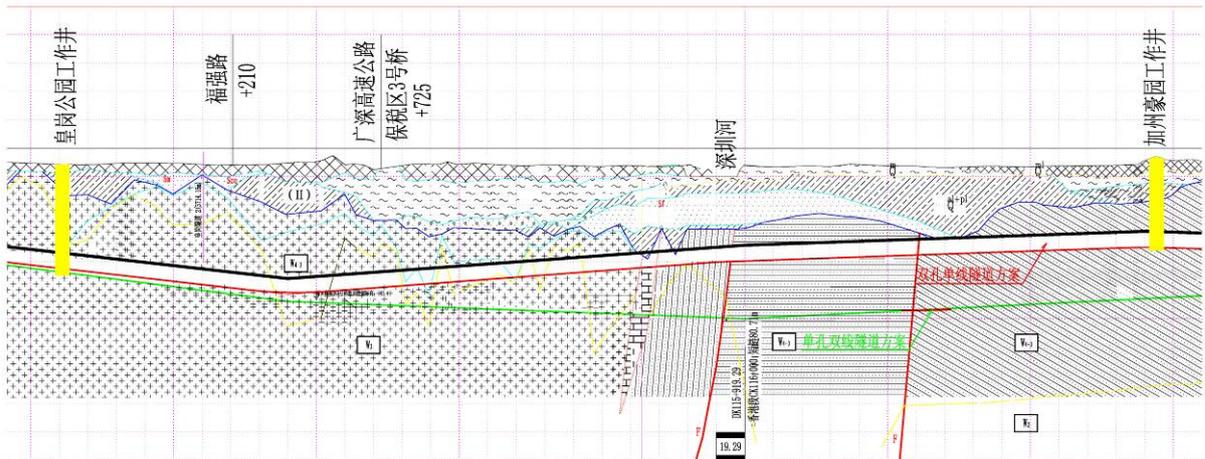


图 5 内地深埋香港浅埋方案

(4) 纵断面设计方案的比较

深埋方案内地隧道埋置深度较大，矿山法隧道全部位于弱风化花岗岩地层中，盾构隧道穿越软硬不均地段长度最小，但深港分界处轨面标高为-44.4m，且在分界处掘进断面存在地层软硬不均，工人换刀作业的气压不满足香港法律规定的要求。

浅埋方案隧道的特点在于埋置深度较浅，满足工作压力的要求。但内地福田保税区段隧道基本上沿岩层分界线设置，软硬不均段长度相对于深埋方案增加约 100m，增加了盾构施工的难度；且皇岗公园工作井段北段隧道软硬不均段长度也有增加，增大了该段盾构隧道作业困难；矿山法隧道洞顶覆盖厚度较其它两个方案薄，施工风险较大。

内地深埋香港浅埋方案因出福田站后采用与深埋方案相同的纵坡，隧道软硬不均段长度相同，但在福田保税区段因纵坡上行，隧道穿越软硬不均段长度较深埋方案增加，在深圳河深港分界处隧道埋深约 34m，能够满足香港相关法律要求。具体比较见表 2-1。

从以上纵断面方案看，深埋方案在内地段及部分香港段隧道均无法满足香港法律要求的埋置深度；浅埋方案内地段、香港段隧道均满足该埋置深度要求，但软弱不均匀段增长，施工分险大；内地深埋香港浅埋方案隧道，满足该埋置深度要求，软弱不均匀段长度适中。根据以上特点及隧道建设方案，选定了内地深埋香港浅埋方案。

表 2-1 纵断面方案比较表

项目	深埋方案	浅埋方案	内地深埋香港浅埋方案
Φ 12.8m 盾构软硬不均段长度	440	533	440
Φ 9.6m 盾构软硬不均段长度	452	755	660
矿山法段拱顶基岩覆盖厚度	16.4	9.8	15.5
深港分界处轨面标高	-44.4	-25.33	-33.97

3. 隧道总体设计

3.1 施工工法段划分

由于连接段建设环境复杂、线间距变化大，设计时应根据不同区段隧道特点选择相应的施工工法。

单洞双线隧道段位于深圳市益田路下，先后下穿滨河大道立交及双拥公园人行天桥，且福田站南端隧道穿越全风化花岗岩地层，地质条件较差，故该段采用盾构法施工，并利用福田站北段隧道的大盾构机。

变线间距段起点位于益田路东侧皇岗公园附近，线间距逐渐增大后下穿益田路。考虑到该段下穿深圳市主干道，且地质情况较好，周边地面无重大建（构）筑物，变线间距段隧道采用矿山法施工，以满足两端不同盾构段面隧道施工要求。

双洞单线隧道先后下穿福田保税区三号桥、福田保税区、深圳河及米埔湿地保护区，地质情况变化较大，该段隧道采用盾构法施工。

3.2 工作井位置选择

根据线路平面以及过渡段的布置、以及上述要求，分别在皇岗公园及米埔设置工作井。

皇岗公园工作井位于线路变线间距起点附近，连接单洞双线盾构隧道与矿山法变线间距隧道。它不仅是矿山法隧道的施工井，也是向北的大盾构机的始发井，和向香港的2台小盾构的始发井。而在运营期为深港连接隧道通风、疏散井。

在考虑矿山法隧道在盾构隧道施工前全部完工的条件下，皇岗公园工作井沿线路方向长度按36m设计，满足三台盾构机的始发要求，一台衬砌外径12.8m向北，两台衬砌外径9.6m的盾构向南掘进至米埔工作井。

香港米埔工作井位于湿地保护区外、加州豪园东侧。

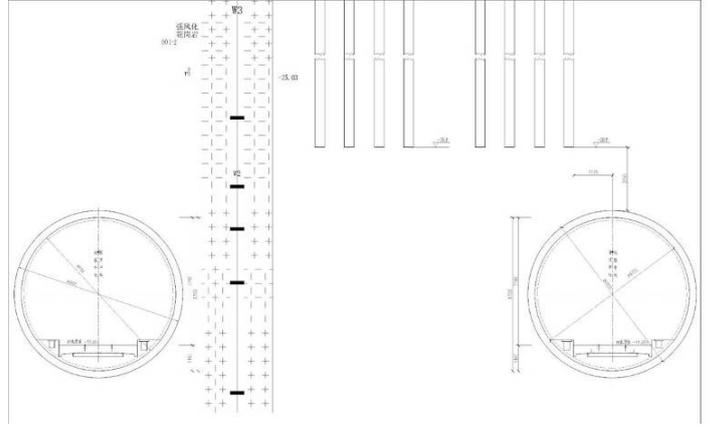
3.3 联络横通道布置

联络横通道的主要作用是：①为养护维修人员提供左右线之间的便捷通道；②紧急情况下人员的疏散；③紧急情况下消防、救援人员的进入。深港连接段隧道按照横通道间距不大于250m布置，全隧道共布置左右线之间的横通道11处。

3.4 隧道与福田保税区三号桥的相互关系

左右线隧道分别以盾构隧道从保税区三号桥两侧下穿通过，其中右线隧道由于平面无法绕避，但先后下穿北桥台及2~9号桥墩，7号桥墩基础底面标高设计最低（-28.8m），从桥梁基础与隧道的相互关系看，右线隧道线路中线距桩基的最小水平距离为2.175m，隧道结构较桩基低3.59m。隧道近距离从桥梁桩基下穿过，但由于隧道周边地层为弱风化的花岗岩，地层较

稳定，故既有桩基不需进行托换。但考虑隧道施工对周边地层的扰动，施工时应加强对既有桩基的监测，并预留注浆孔，根据监测资料对桩基注浆加固。隧道与既有桩基的相互关系详见“隧道与保税区三号桥的相互关系图”。



4. 消防救援设计

4.1 内地段综合防灾系统及防灾措施

连接段隧道内地段防灾设计以“消灭火灾于初期，尽量使列车驶离隧道，实施特定地点防灾”为原则。

隧道内综合防灾系统的应急处理程序同北段单洞双线方案，但在防灾系统配置上存在以下差异：

（1）双洞单线隧道在最低点处设置一联络通道，其余地段按间距不大于250m布置联络通道。隧道内发生火灾时，旅客在疏散指引下沿救援通道前行至联络通道，通过联络通道进入另一隧道内，然后步行或疏散列车接送至福田站、石岗救援站或西九龙站。

（2）在隧道内每间隔100m设图像文字标记，指示下一救援点或联络通道的整百米数，并配备灯光显示方向。

（3）隧道各个联络通道处设置电视监控。

（4）联络通道内设置紧急照明灯具，供逃生时照明使用。

（5）在联络通道与正洞连接处设置防火门，以避免隧道灾害的相互波及，并避免烟气对人员逃生产生影响。

4.2 香港段综合防灾系统及防灾措施

连接段队到香港段综合防灾设计原则依据本地相

关法律法规确定。其在建筑防灾系统布置上主要考虑以下因素。

(1) 双洞单线两隧道之间设置联络信道，利用联络信道疏散火灾后的人员，其疏散路径同内地双洞单线隧道。

(2) 联络通道间距依据香港消防相关法律确定。

(3) 在隧道内及联络通道处设置逃生指引、电视监控及紧急照明等设施。并在联络通道与正洞连接处设置防火门。

4.3 紧急事故管理处理策略

在紧急情况下如列车火灾，尽量将事故列车驶往福田站或石岗救援站或西九龙站，进而使乘客能快速安全疏散，消防团队能快速到达，列车火灾也能容易扑灭。该建议方案包括列车运调、隧道的环境控制、隧道紧急照明、横信道门锁和横信道出口标志等监控和操纵还有待内地铁路运营方和相关部门的协商统一制定。

5. 施工组织安排

5.1 盾构机选型

从本工程的建设环境看，土压平衡盾构与泥水加压平衡盾构均满足隧道施工要求，但两种盾构施工对周边环境的影响及地层适应性存在一定的差别。

本工程盾构在深圳下穿益田路，两侧分布有多栋高层建筑，并将下穿福田保税区三号桥；在穿越深圳河深港分界线后进入香港米埔湿地保护区，该区域有严格的环境保护要求，经过保护区的任何工程建设均需严格遵循香港政府和世界自然基金会的相关准则。因此，从地表沉降控制的角度而言，泥水盾构较土压平衡盾构更具有优势。

5.3 工期安排

综合来看，两种类型盾构机均可满足工程施工要求，但泥水加压平衡式复合盾构对于工程施工的风险和施工进度控制较土压平衡盾构都更具有优势，并且在经济成本上并不比土压平衡盾构增加多少，因此，本工程选用了泥水加压平衡式盾构机。

5.2 深港隧道建设工期控制条件

(1) 深圳市对深圳段工程的施工期要求。由于2011年8月世界大学生运动会将在深圳市举行，深圳市要求深圳市区内的土建工程尽量在大运会前完工。从福田站及相关工程计划安排，皇岗公园工作井及矿山法隧道均须在2011年6月世界大学生运动会前完工；

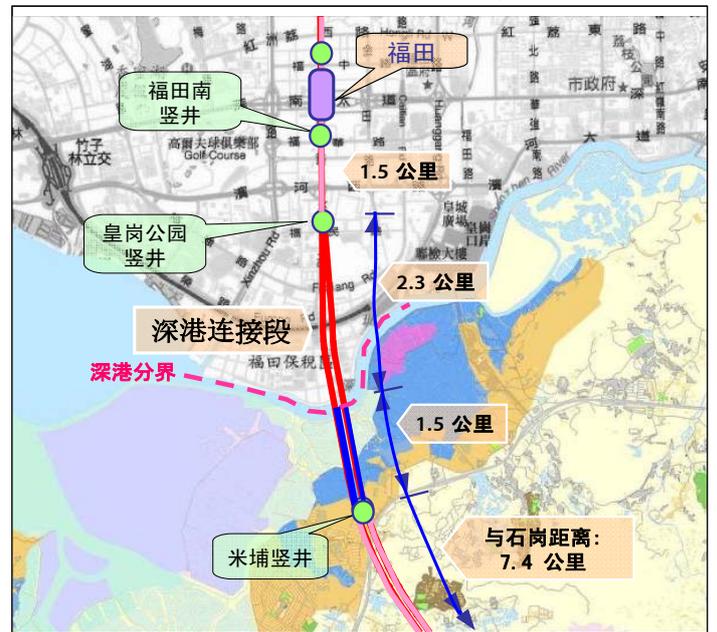


图6 深港连接段施工组织

(2) 皇岗公园北段单洞双线“大盾构”到达时间。该盾构采用福田站北端益田路隧道盾构机，需在完成益田隧道后解体运至皇岗公园。

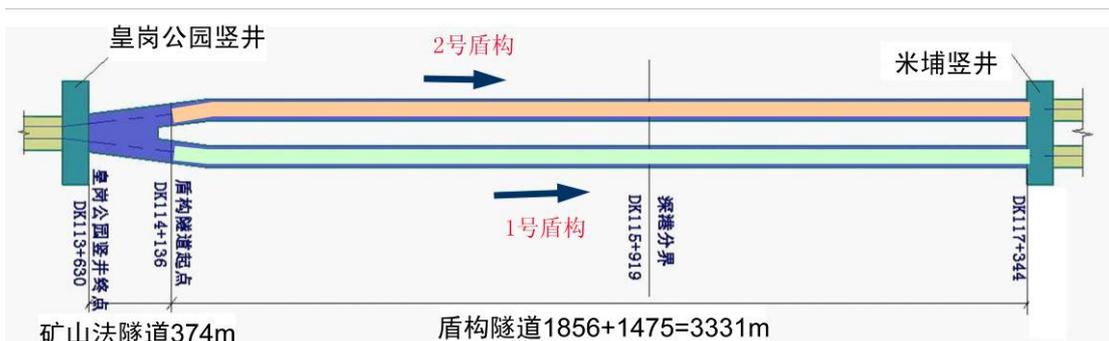


图7 深港连接段施工安排示意图

2010年5月开始施工皇岗公园工作井,2011年中两台小盾构分别到达皇岗公园工作井,2011年底开始向米埔工作井推进,至2013年底两台盾构均到达米埔工作井吊出完成,然后开始联络通道及洞内附属设施开始施工,2014年中隧道土建完工。

6. 跨境施工安排及政府协调工作

6.1 工程的划分

根据目前的工程的安排,深港连接段隧道采用由内地往香港掘进的施工方案。连接段隧道以深圳河深港分界线为分界,由广深港客运专线公司负责深圳河以北段的施工,深圳河以南段则由香港段的建设单位香港铁路有限公司负责兴建。

6.2 工程的特殊性

由于深港连接段形式上虽以深圳河深港分界线为分界点,实际上盾构隧道是一个整体,需通力合作完成。在隧道贯通前,皇岗公园的工作井将会是内地和香港工作人员、设备及材料进出的唯一通道。当中牵涉到两地不同的司法管辖,进出界的安排,适用法规的差异,以及消防、紧急救援等等的安排,均需通过两地相关部门协商处理,以便工程能够顺利进行。而在深港连接段隧道贯通后,也需要制定特别的管制措施管理。

6.3 成立隧道跨界施工协调小组

为了解决在跨界施工中可能出现的问题,保证深港连接段的顺利施工,2010年7月19日,铁道部计划司在深圳主持召开了由深港两地政府参加的“广深港客运专线深港连接段跨境隧道工程管理协商会议”,就广深港客运专线深港连接段隧道施工管理提出了建议方案。会议商定内地地方由深圳市轨道办牵头,香港方由香港路政署牵头,成立广深港客运专线深港连接段隧道施

工协调小组,下设“职能部门”和“工程推进”两个工作小组。

6.4 深港连接段隧道施工协调小组工作内容

围绕保障国家铁路重点建设项目广深港客运专线香港段于2015年中按期开通的中心目标,研究深港隧道施工期间涉及到深港间边检、边防、海关、公安、消防、税务、劳工、卫生防疫、紧急救援、环境保护等有关事项,提出解决方式及管理办法,作为施工管理的指导性文件。

7. 总结

深港连接段隧道是第一条内地香港跨界隧道,采取“各自投资,各自建设,各自拥有,各自管理”方式建设的国家重点工程的一部分,由于工程下穿深港分界,带来了以前工程未曾遇到的一系列问题。香港和内地地方对不同的设计方法、建设标准、管理机制、运营模式等进行了大量的沟通协调工作,双发以务实、可操作性强为原则,这些工作的方法的科学与否,对项目的进度、实施效率和效益都将产生巨大的影响,目前已初步就工程建设的管理方向达成一致。在未来的5年工程建设期中,港方将与内地方展开进一步的合作。确保2015年中广深港全线开通的目标。

作者简介:

2004年6月加入港铁公司,现任香港铁路公司属下全资子公司港铁轨道交通(深圳)有限公司设计管理部设计经理,负责广深港高速铁路深港连接段的前期规划、设计、协调管理工作;以及深圳轨道交通四号线二期的建设工作。加入港铁前,曾参与北京城铁的前期规划、京广铁路、京沪的提速设计、北京四环路公铁立交设计以及阿布扎比-艾因快速道路的建设施工。拥有工学学士及国家专业技术高级工程师资格。