

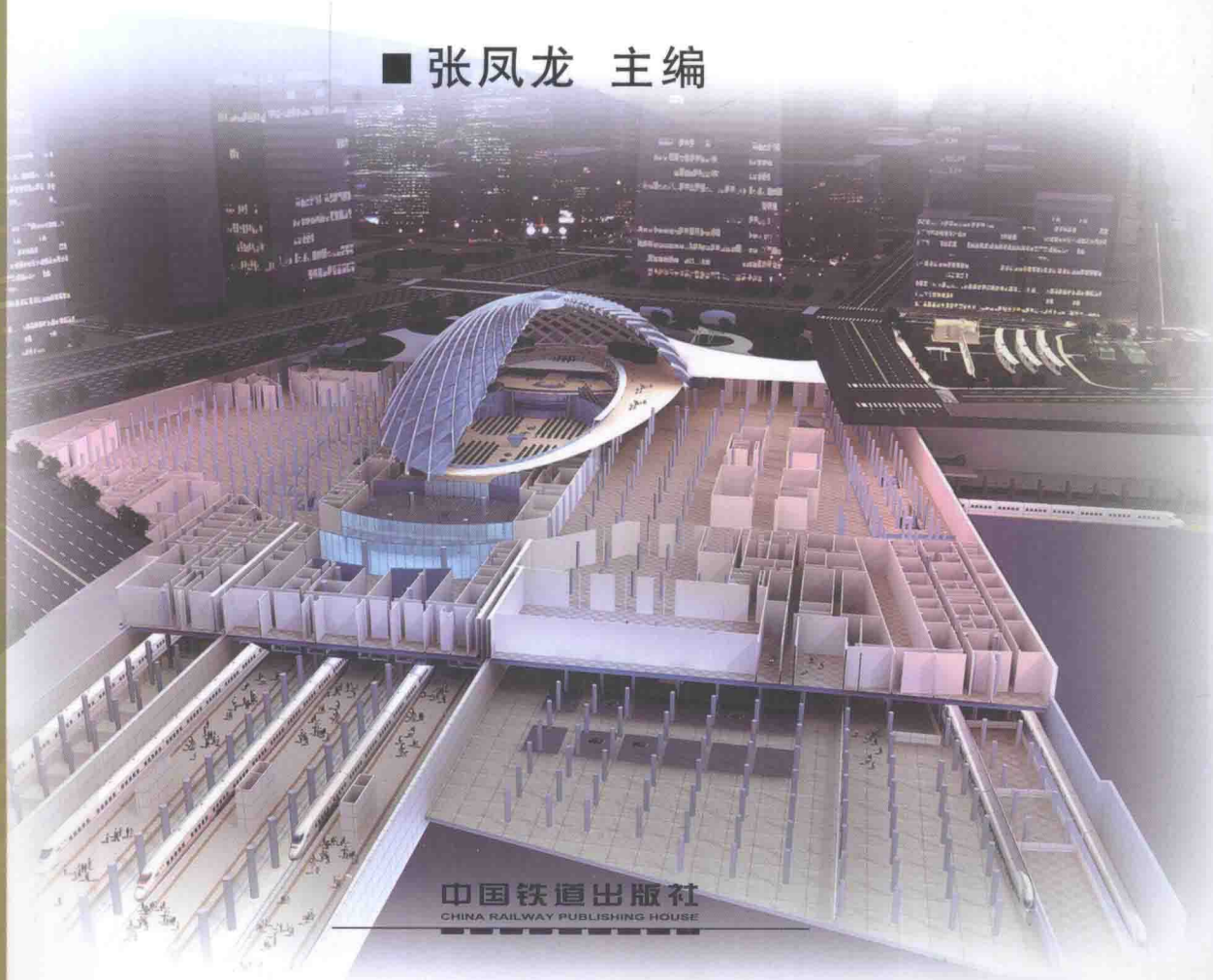
RUANRUO DICENG CHAODA SHENJIKENG DIXIA CHEZHAN  
SHIGONG ZONGHE JISHU



京津城际延伸线工程建设丛书

# 软弱地层超大深基坑地下车站 施工综合技术

■ 张凤龙 主编



中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助出版

京津城际延伸线工程建设丛书

# 软弱地层超大深基坑地下车站 施工综合技术

张凤龙 主编

中国铁道出版社

2015年·北京

## 内 容 简 介

京津城际铁路是我国第一条高速铁路,已于2008年由北京通车到天津塘沽站。京津城际铁路延伸线天津至于家堡的45 km线路也即将完工,计划2015年内通车。于家堡站是一座地下车站,站房基底开挖深度达22 m,长近864 m,宽14~86 m,地下连续墙深达60 m,属超大深基坑。于家堡地区地层软弱,地下水丰富,地质情况十分复杂。这座车站的建成,在攻克复杂地质条件方面有着积极的现实意义。

本书详尽介绍了于家堡车站地下超大基坑的综合施工技术,主要包括深基坑的设计,超深地下连续墙施工,超深超大直径扩孔桩施工,超大直径钢管柱施工,超大基坑降水和支撑等各项关键技术。

本书内容翔实新颖,可为土木工程技术人员和高等学校有关专业师生学习借鉴。

### 图书在版编目(CIP)数据

软弱地层超大深基坑地下车站施工综合技术/张凤龙主编. —北京:  
中国铁道出版社,2015.6

(京津城际延伸线工程建设丛书)

ISBN 978-7-113-20126-5

I. ①软… II. ①张… III. ①地下铁道车站—软土地基—  
深基坑—工程施工 IV. ①U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 059505 号

书 名: 京津城际延伸线工程建设丛书  
名: 软弱地层超大深基坑地下车站施工综合技术  
作 者: 张凤龙

策 划: 江新锡  
特邀编辑: 安鸿逵  
责任编辑: 张卫晓 编辑部电话: 010-51873065 邮箱: zhuxiao23@163.com  
封面设计: 王镜夷  
责任校对: 王 杰  
责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京铭成印刷有限公司

版 次: 2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 17 字数: 412 千

书 号: ISBN 978-7-113-20126-5

定 价: 60.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

## 编 委 会

主 编：张凤龙

副 主 编：胡建明 严 峰

编 委：温双义 邱振虎 刘德彬 杨智艳  
高群山 曹景全 李根喜 潘 栋  
马 瑾 唐国善 管建国 齐立宏  
王 欣 严 杰 张 威 金振山  
刘金锁 王久军 朱保山 周 戈  
杜 民 谢晓华 王志兵 王海亚  
温 骥 施洪乾 靳军文

# 序

中国高速铁路的发展令世人瞩目,截至2014年底,已建成高速铁路1.6万公里,“四纵四横”高速铁路主骨架网基本形成,塑造了中国高速铁路“技术先进,安全可靠,性价比高”的国际品牌。在高速铁路建设和发展过程中,广大铁路建设者艰苦奋斗、集思广益、积极探索,经过了引进、消化、吸收、再创新的艰难历程,形成了自主知识产权,取得了丰硕的技术成果。京津城际及其延长线的建设和实践充分表明了这一点。

京津城际是我国第一条设计时速350 km的高速铁路,自开通运营至今,经受住了运营的考验,对京津两地经济和社会的发展起到了前所未有的支撑作用。津滨城际自天津至于家堡是京津城际高速铁路的延伸线,它的建成和开通运营对天津自贸区的发展将起到带动作用,必将进一步促进京津冀一体化的形成和发展。

京津城际延伸线虽然线路全长不足45 km,但修建难度大。线路从天津站城际场东咽喉引出,由有砟轨道、无砟轨道、25.65 km特大桥、明挖隧道横穿既有塘沽站场和城市主干道、盾构施工隧道及于家堡地下车站等单位工程组成,堪称高铁建设的博物馆,存在跨线、下穿、站场施工过渡、大直径盾构穿越繁华商业街建筑群保护、大直径盾构450 m小半径曲线施工、超大超深基坑、单层网壳穹顶钢结构、新型ETFE膜结构屋面施工、钢结构穹顶永久健康监测等许多技术难题。

特别是于家堡高铁站,是集高铁、城市轨道交通、公交、出租及社会车辆的综合地下交通枢纽,设地下两层,3台6线规模,地面层为“贝壳”形穹顶采光屋面。超大超深基坑盖挖区长为335 m,宽60 m;明挖区长529 m,宽14~86 m,深22.1 m,属首次在沿海地质复杂区进行如此规模超大超深基坑施工;穹顶钢结构是由36根正反螺旋编织而成的单层网壳钢结构,是目前世界上跨度最大的单层网壳。我曾参与设计评审及先后两次到施工现场,对工程难度深有体会。

京津城际延伸线的建设者,在工程施工过程中,树立“科学组织、精细管理、塑造精品、誓创一流”的建设理念,坚持精细化管理,加强科技攻关,克服了许多困难,解决了一个又一个难题。更为可喜的是,为总结京津城际延伸线建设实践的经验,给今后高速铁路建设提供借鉴,津滨城际铁路有限责任公司张凤龙同志担当主编,组织津滨城际铁路科研、设计、施工方面的技术人员和管理者,编写了《京津城际延伸线工程建设丛书》,将成功的经验和实践中存在的不足,呈现给了业界同行和广大的科技工作者。

该丛书分《大跨单层网壳钢结构穹顶施工综合技术》《软弱地层超大深基坑地下车站施工综合技术》《复杂条件下铁路大直径泥水盾构施工综合技术》三册,对京津城际延伸线建设过程中的技术难题及其解决的方法进行全面梳理和系统的总结思考,对今后高速铁路建设具有较强的借鉴作用和参考价值。

我将该丛书推荐给从事高速铁路设计咨询、建筑施工、科研和教学的相关专家和广大读者,并藉此向京津城际延伸线全体建设者致敬!

中国工程院院士  
中国铁路总公司总工程师

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters, likely '何平' (He Ping).

2015 年 4 月

随着我国经济的持续快速发展,大规模的高层建筑、市政工程、大型综合交通枢纽等建设项目数量剧增,尤其在城市地区,开发利用地下空间是科学持续发展和提高城市功能的必经之路,基坑工程技术是地下空间开发建设的重要手段。滨海地区软弱地质条件下的深基坑工程涉及水文地质、岩土力学、工程力学、工程技术、信息工程及工程管理等多门学科。同时,基坑规模趋于大面积和大深度的发展、基坑周边环境保护要求的提高、工程工期和资源节约等建设条件的制约,给深基坑工程的设计、施工和管理提出许多挑战性的课题,这也是软土地区深基坑工程事故一直占有较高比例的客观因素。

于家堡地下站是京津城际延伸线的终点站,坐落于天津市滨海新区于家堡半岛咽喉处,临近海河,属于典型的滨海软土地质条件。于家堡地下站房面积 $86\,128\text{ m}^2$ ,基坑长 $864\text{ m}$ ,宽 $14\sim 68\text{ m}$ ,最深处 $29.5\text{ m}$ ,基坑面积 $42\,000\text{ m}^2$ 。于家堡站的深基坑工程关系到站房工程的建设是否顺利,制约着全线铺轨的节点工期,由此列为原铁道部和天津市的重大风险源工程之一。

于家堡站深基坑综合施工技术成功运用,顺利保证了于家堡车站站场、站房工程的正常实施。本书介绍了工程中八项关键技术的应用,超深异型复杂地质条件下地下连续墙的施工技术解决了淤泥层、砂层地质条件下地连墙难以成槽容易塌方的现象;超深超大直径AM扩孔桩施工技术保证了在地质条件复杂、承载力低条件下桩的施工质量;HPE液压垂直插入钢管柱施工技术为盖挖区逆作法竖向结构的施工提供了保证,突破盖挖逆作法的传统工艺,保证了钢管柱的精度定位和铁路限界的要求;超深基坑降水施工技术解决了复杂水文地质条件的基坑安全和施工要求;超大基坑支撑施工技术,通过竖向、横向支撑杆件与地下连续墙的节点设计形成的支撑体系保证了基坑安全,支撑体系的空间布置为土方开挖提供了便利条件;超深基坑开挖技术采用顺做法和半顺半逆的施工方法进行结合,保证了深基坑土方的顺利开挖,减少了基坑的暴露时间和因时空效应影响基坑变形的风险;超深结构基坑防水施工技术,减少地下结构渗漏水风险,为运营使用提供了安全保障;深基坑综合监测技术利用先进的信息技术和测量手段,对深基坑开挖过程进行动态管理和控制,为基坑工程的风险管理提供保障。

于家堡软弱地层超大深基坑地下车站施工综合技术的有效实施,为后期类似深基坑的施工积累了丰富的数据和经验,作为津滨城际铁路有限责任公司的总经理,笔者有幸参与了于家堡站工程设计和施工过程,主持了设计和施工过程中的全部技术攻关,组织进行了大量的性能试验和现场试验,解决了一系列技术和施工难题,从中也总结和积累了一定的经验。为使更多的人了解于家堡高铁站房软弱地层超大深基坑地下车站施工综合技术,使建筑界的业主和开发商、设计院和施工单位等相关人员更加深入地了解本工程深基坑施工的技术特点和技术原理,从而进一步推动该综合技术在我国建筑领域的广泛应用,笔者愿将所掌握和了解的相关技术呈现给建筑界和关注深基坑施工的各界同仁,这正是编写本书的目的所在。

尽管编者在于家堡施工之前对相关类似的深基坑工程进行了调查研究和实地考察,并亲历了于家堡站工程设计和施工的全过程,但由于地质条件的复杂性、工程本身的技术难度、涉及学科的多样性以及自身专业和经验有限,加之时间仓促,难免有不足之处,敬望谅解。

# C 目 录

## CONTENTS

---

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 概 述 .....                  | 1   |
| 1 工程概况 .....               | 3   |
| 1.1 基坑形式和周边情况 .....        | 4   |
| 1.2 基坑围护及支撑体系 .....        | 4   |
| 1.3 加固措施 .....             | 5   |
| 2 深基坑设计研究 .....            | 7   |
| 2.1 基坑总体设计方案暨施工工法的选择 ..... | 7   |
| 2.2 围护结构型式的选择 .....        | 23  |
| 2.3 地连墙详细设计及研究 .....       | 25  |
| 2.4 基坑降水设计及研究 .....        | 32  |
| 3 地质条件 .....               | 60  |
| 3.1 区域地质概况 .....           | 60  |
| 3.2 场地工程地质条件 .....         | 61  |
| 3.3 水文地质特征 .....           | 72  |
| 4 超深地下连续墙施工技术 .....        | 77  |
| 4.1 概 述 .....              | 77  |
| 4.2 施工重、难点分析 .....         | 77  |
| 4.3 施工总体安排 .....           | 80  |
| 4.4 施工方案 .....             | 82  |
| 4.5 总 结 .....              | 114 |
| 5 超深超大直径 AM 扩孔桩 .....      | 117 |
| 5.1 概 述 .....              | 117 |
| 5.2 施工重难点分析 .....          | 117 |
| 5.3 施工总体安排 .....           | 117 |
| 5.4 施工方案 .....             | 119 |

|      |                          |     |
|------|--------------------------|-----|
| 5.5  | 主要施工管理技术 .....           | 127 |
| 5.6  | 安全生产及应急处理措施 .....        | 133 |
| 5.7  | 总 结 .....                | 137 |
| 6    | 超大直径钢管柱施工技术 .....        | 138 |
| 6.1  | 概 述 .....                | 138 |
| 6.2  | HPE 液压垂直插入钢管柱原理及特点 ..... | 138 |
| 6.3  | 超大直径 HPE 钢管柱主要施工工序 ..... | 140 |
| 6.4  | 总 结 .....                | 144 |
| 7    | 超深基坑降水施工技术 .....         | 145 |
| 7.1  | 概 述 .....                | 145 |
| 7.2  | 基坑降水目的 .....             | 146 |
| 7.3  | 场区工程地质水文地质条件 .....       | 147 |
| 7.4  | 基坑底板抗突涌(管涌)稳定性分析 .....   | 149 |
| 7.5  | 降水工程重点难点分析与对策 .....      | 150 |
| 7.6  | 水文地质计算 .....             | 151 |
| 7.7  | 降水施工技术要求 .....           | 159 |
| 7.8  | 安全运行应急预案 .....           | 160 |
| 7.9  | 减压降水引起的地面沉降控制 .....      | 161 |
| 7.10 | 风险分析及应对措施 .....          | 161 |
| 7.11 | 降水运行施工 .....             | 162 |
| 7.12 | 地下水水位全自动监控 .....         | 163 |
| 7.13 | 施工工艺及技术要求 .....          | 164 |
| 7.14 | 总 结 .....                | 166 |
| 8    | 超大基坑支撑施工技术 .....         | 168 |
| 8.1  | 概 述 .....                | 168 |
| 8.2  | 支撑体系施工技术 .....           | 169 |
| 8.3  | 支撑体系模板施工 .....           | 175 |
| 8.4  | 支撑体系混凝土施工 .....          | 191 |
| 8.5  | 支撑体系施工要点及工序 .....        | 193 |
| 8.6  | 总 结 .....                | 194 |
| 9    | 超深基坑开挖技术 .....           | 195 |
| 9.1  | 概 述 .....                | 195 |
| 9.2  | 土方开挖总体思路 .....           | 196 |
| 9.3  | 盖挖区土方开挖 .....            | 196 |
| 9.4  | 明挖区土方开挖 .....            | 204 |

|      |                    |     |
|------|--------------------|-----|
| 9.5  | 土方开挖注意事项 .....     | 210 |
| 9.6  | 土方开挖应急措施 .....     | 214 |
| 9.7  | 总 结 .....          | 219 |
| 10   | 超深基坑防水施工技术 .....   | 220 |
| 10.1 | 概 述 .....          | 220 |
| 10.2 | 卷材防水施工 .....       | 220 |
| 10.3 | 防水混凝土 .....        | 227 |
| 10.4 | 各种止水带做法 .....      | 228 |
| 10.5 | 结构防水构造 .....       | 231 |
| 10.6 | 各种节点的防水做法 .....    | 232 |
| 11   | 基坑开挖过程中的监测技术 ..... | 238 |
| 11.1 | 基坑监测的目的及概述 .....   | 238 |
| 11.2 | 监测目标及原则 .....      | 238 |
| 11.3 | 监测项目及技术方法 .....    | 239 |
| 11.4 | 静力水准系统 .....       | 249 |
| 11.5 | 总 结 .....          | 252 |
| 12   | 结 论 .....          | 254 |
|      | 参考文献 .....         | 255 |
|      | 后 记 .....          | 256 |

# 概 述

随着铁路大规模发展,大型高铁站房建设越来越多,站房的形式多种多样。不同地质条件下大型站房施工技术也随之不断创新,使用新技术来解决各种地质条件下大型站房的施工难题。

于家堡交通枢纽工程位于建设中的于家堡中心商务区的北端。滨海新区于家堡中心商务区位于海河北岸,北至新港路,东西南三面环水。该交通枢纽工程以城际铁路于家堡站为中心,并配套建有规划的城市轨道线路 Z4、B2、Z1 三线的预留地铁车站工程及出租车停车场、社会停车场等市政工程。建成的于家堡枢纽工程将使滨海新区于家堡地区的地铁、城际、常规公交及其他交通方式之间高效衔接,为天津滨海新区交通功能的改善发挥重要作用。

城际铁路于家堡站为京津城际铁路延伸线终点站,为国内罕有的地下二层火车站工程(以下简称“本工程”),车站规模为 3 台 6 线。与一般地铁车站工程相比,具有结构规模大、层高高、跨度大等特点。城际车站地下部分考虑运营期间使用功能及景观要求,车站站台范围不设中间立柱,只在城际站台两线间设置结构中立柱,结构横向跨度 20.5 m。对于普通钢筋混凝土地下结构来说,为超大跨度结构。且火车站的层高要求较高,使得地下一层的层高为 10.2 m,地下二层的层高为 10.5 m,这也为结构设计带来很大难度。

于家堡交通枢纽工程中,城际车站基坑深度约 20.5 m;Z4、B2 线车站与城际车站基本平行,Z4 线车站与城际车站密贴,基坑深度与其一致;B2 线车站与城际车站之间的社会停车场工程基坑深度约 16.5 m;Z1 线车站垂直下穿以上三站,基坑深度约 29.5 m;其余配套的出租车、商业开发等工程为地下一层结构,基坑深度约 10.5 m。整个基坑面积超过 13 万  $\text{m}^2$ ,为超大、超深规模基坑。

本工程临近海河入海口,地层软弱,砂层及微承压水层极厚,地质条件复杂,基坑开挖及降水的难度很高。

于家堡站站房工程大型深基坑是目前国内面积最大的全地下结构铁路站房深基坑工程,由于基坑面积大、开挖深、地下水位高、基坑周边邻近站房配套及附属工程多,施工环境复杂,经过不断总结和提高,采用“半顺半逆及钢便桥土方开挖施工技术”,总结出在复杂条件下大型深基坑工程的若干经验,确保了基坑支护结构、周边配套及附属工程和周围环境的安全,取得较好的效果。本书详细介绍大型地下深基坑“半顺半逆法”等施工关键技术,总结在复杂条件下大型深基坑工程的若干经验。



# 1 工程概况

于家堡站为地下高铁站房，站房建筑面积为 86 168 m<sup>2</sup>，站台规模为 3 台 6 线。于家堡车站为地下两层。地下二层为站台及轨道层；地下一层为候车大厅、设备用房及办公区层。地面层为“贝壳”形穹顶采光屋面，于家堡站房穹顶建筑效果图、平面图和剖面图见图 1—1～图 1—4。

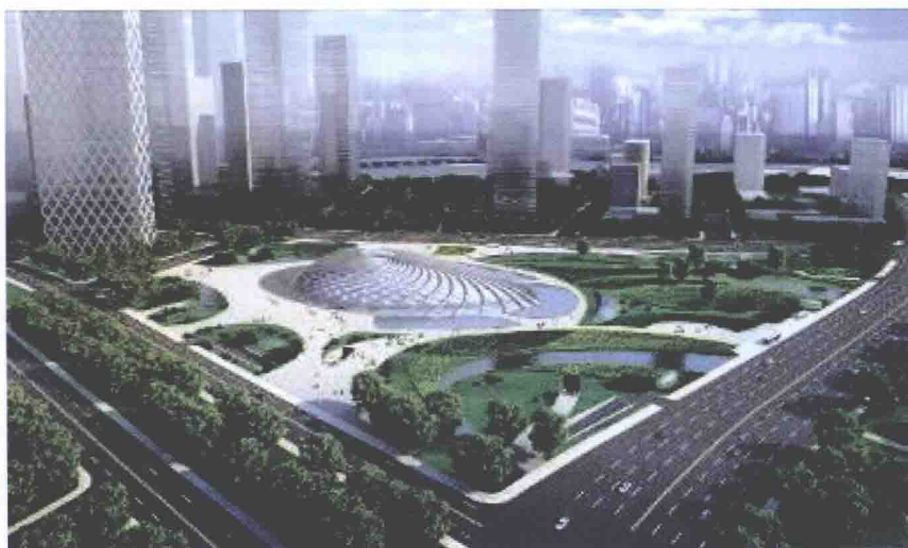


图 1—1 于家堡站房穹顶建筑效果图

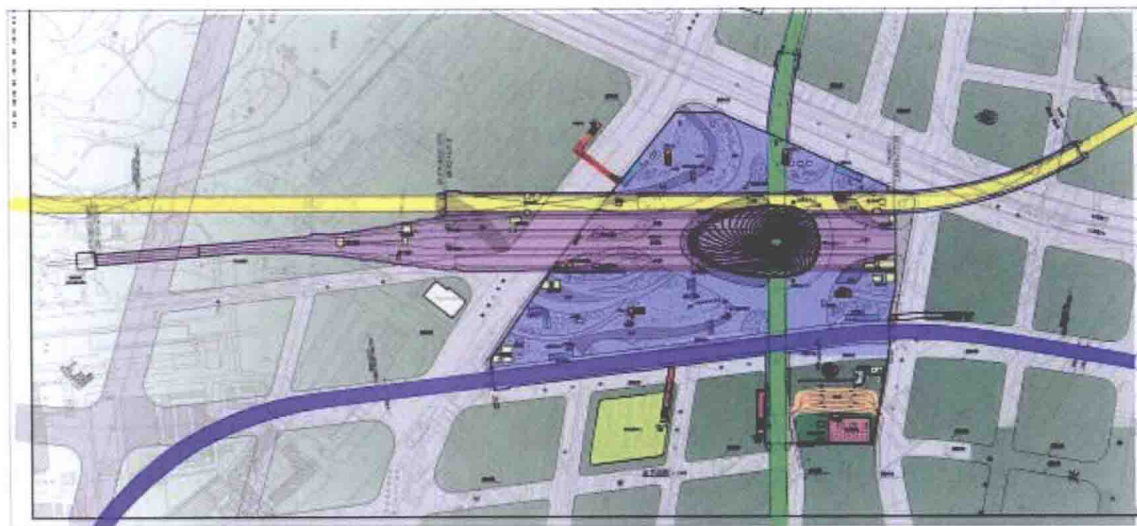


图 1—2 于家堡站平面图



图 1—3 于家堡站横剖面图

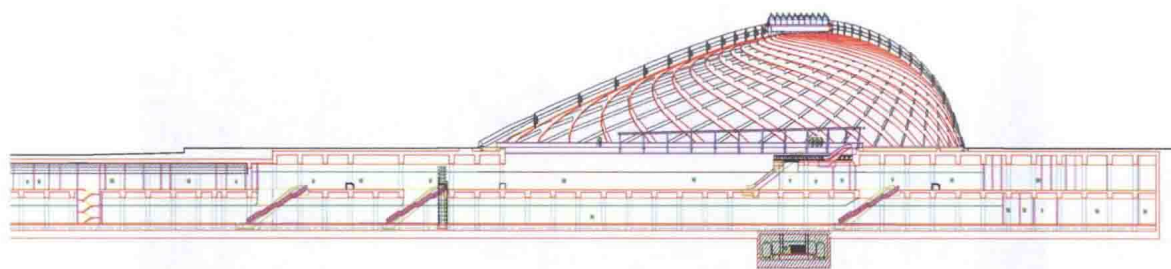


图 1—4 于家堡站纵剖面图

## 1.1 基坑形式和周边情况

于家堡站房工程的盖挖区南北向长为 335 m,东西跨度为 60 m;明挖区长为 529 m,东西跨度为 14~86 m 不等,于家堡站房工程基底相对高程 $-20.5$  m(其中,相对高程指相对于场区自然地面大沽高程 1.60 m),基坑开挖深度 22.1 m,分区见图 1—5。

其中,盖挖区东侧紧邻地铁 B1 线,地下两层,基底相对高程与站房相同;西侧与社会停车场相邻,地下两层,基坑底相对高程 $-14.9$  m,基坑开挖深度 16.5 m;地铁 Z1 线车站横穿于家堡车站、B1 线,位于地下三层,基坑底相对高程 $-26.9$  m,基坑深 28.5 m。

明挖区东侧紧邻地铁 B1 线,地下两层,基底相对高程与站房相同;西侧为 15 层银行大楼和居民小区,其中距离银行大楼最近处为 17 m。

## 1.2 基坑围护及支撑体系

盖挖区采用逆作法施工,利用主体结构代替水平支撑,基坑围护结构为 1 000 mm 厚地连墙,深度为 60 m。明挖区采用顺做法施工,基坑围护结构采用 1 200 mm 厚 T 形地连墙,深度 60 m,水平支撑采用钢筋混凝土支撑,共设计 4 道,明挖区水平支撑布置图见图 1—6。

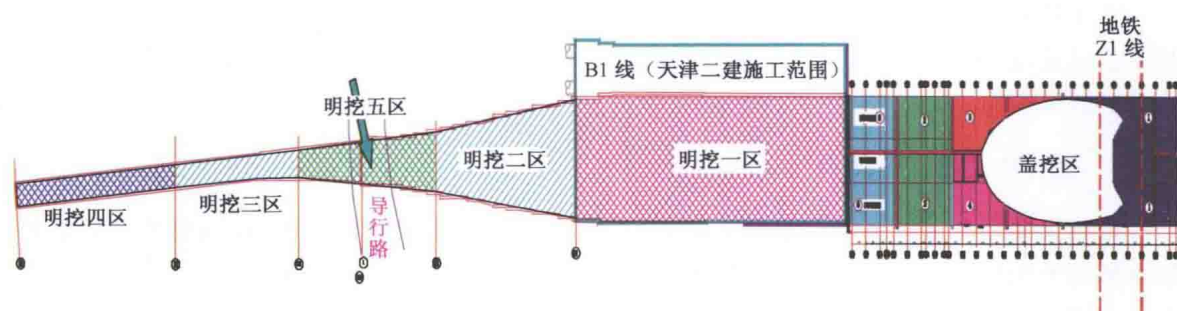


图 1—5 施工现场分区平面图

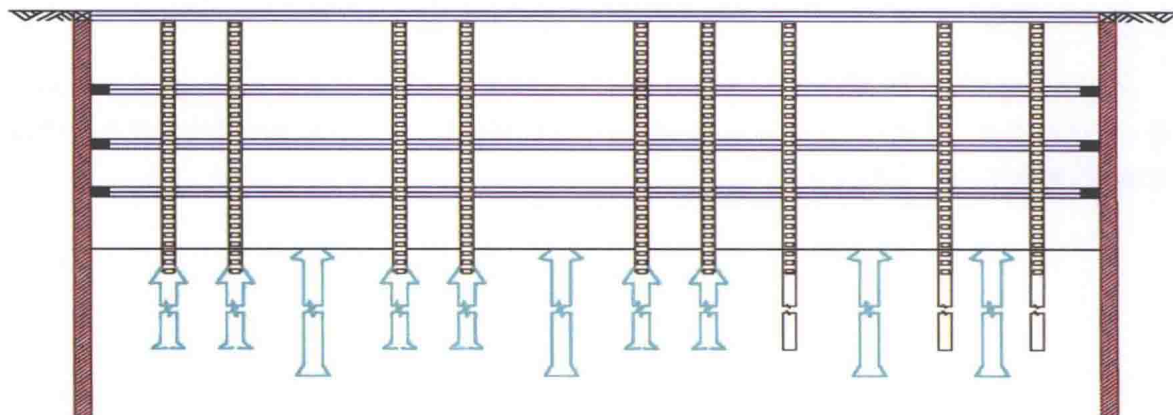


图 1—6 明挖区混凝土支撑示意图

## 1.3 加固措施

### 1.3.1 水泥搅拌桩

于家堡地下车站工程临近海河入海口,地层软弱(图 1—7 和图 1—8),砂层及微承压水极厚,地质条件复杂,基坑开挖及降水的难度大,极易产生流砂、涌砂,给地下连续墙(以下简称地连墙)施工及基坑开挖安全施工带来极大难度。为了防止地连墙成槽过程中塌方,地连墙两侧采用水泥搅拌桩进行土体的加固,确保地连墙施工过程中周边土体的安全和稳定。



图 1—7 淤泥层土质现场照片



图 1—8 砂层土质现场照片

为了确定加固土体的水泥掺量、寻求最佳的搅拌次数、确定水泥浆的水灰比、泵送时间、搅拌机提升速度、下钻速度及复搅等参数,以指导下一步水泥搅拌桩的大规模施工,先进行水泥搅拌桩试桩的施工。

### 1.3.2 银行大楼灌注桩加固

银行大楼距离基坑主体最近距离为 17.3 m,为了阻隔基坑开挖所引起的地层变形向建筑物基础的地层区域发展,控制银行大楼的变形,确保施工期间银行大楼的安全,在基坑地连墙和既有银行大楼之间设置两排直径为 1 m 间距为 1.5 m 钻孔灌注桩,以保证基坑施工过程中银行大楼的安全和稳定。

### 1.3.3 高压旋喷桩施工

地下连续墙施工完成后,在开挖前要对地下连续墙分幅接缝处基坑外侧,施作 2 根  $\phi 800$  @400 的咬合高压旋喷桩,桩长为 60 m 深,整个基坑开挖后,地连墙接缝处没有发现任何渗漏水现象,避免了基坑漏水的风险。