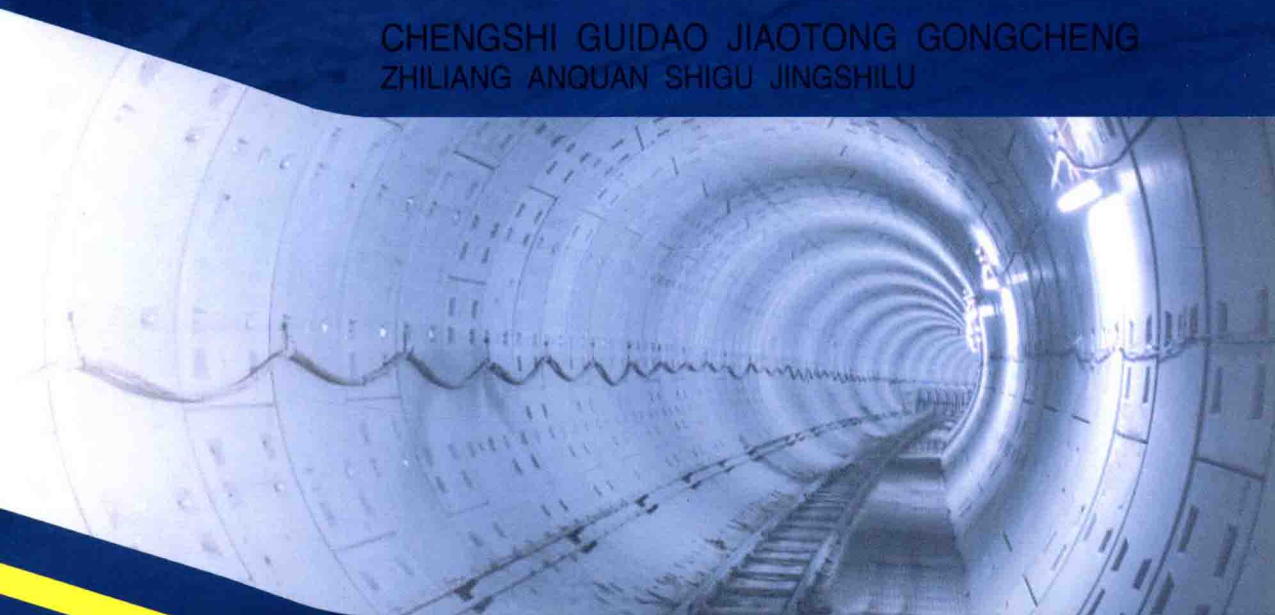


主 编 裴 晓

副主编 朱剑豪 朱建纲 潘延平

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG GONGCHENG
ZHILIANG ANQUAN SHIGU JINGSHILU



城市轨道交通工程 质量安全事故警示录

上海科学技术出版社

城市轨道交通工程质量 安全事故警示录

主 编 裴 晓

副主编 朱剑豪 朱建纲 潘延平

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书以城市轨道交通工程质量安全事故案例为研究对象。全书共分为七章,内容包括车站风井出入口深基坑工程事故、区间隧道工程施工事故、盾构进出洞事故、旁通道施工事故、周边管线事故、安全事故、其他事故。重点对轨道交通工程事故的发生原因、预防和控制措施进行分析。适用于参与轨道交通工程建设的建设单位、施工单位、监理单位、勘察设计单位、审图单位、监测单位、高校师生及相关专业技术人员作为参考、培训和学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通工程质量安全事故警示录 / 裴晓主编.
—上海: 上海科学技术出版社, 2015. 1
ISBN 978-7-5478-2405-4

I. ①城… II. ①裴… III. ①城市铁路—交通运输安全—案例—汇编 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 236332 号

城市轨道交通工程质量安全事故警示录

主 编 裴 晓

副主编 朱剑豪 朱建纲 潘延平

上海世纪出版股份有限公司 出版
上海科学技术出版社
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行
200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张: 10

字数: 210 千字

2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-2405-4/U·28

定价: 40.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题, 请向工厂联系调换

本书编委会

主 任 裴 晓

副 主 任 朱剑豪

编 委 朱建纲 沈红华 陆 昱 陈 宁 黄忠辉 潘延平
辛达帆 尹 华 高东成 闫国强 周文波 吴惠明
陈立生 曹建忠 向阳生 周翔宇 乔福全

主 编 裴 晓

副 主 编 朱剑豪 朱建纲 潘延平

编写人员 徐克洋 陈云立 兰守奇 李 琰 陈晓明 朱毅敏
龙莉波 张 铭 崔晓强 蔡忠明 范凌豪 姜小强
张 顺 倪凯勇 吉 欣 邱 迪 卢礼顺 彭少杰
梁志超 郑 洁 李 刚 陶 育 方宇林 付忠森
李招明 曹 君 高 兴 白国鹏 李 伟 崔纯纯
张 瑜 薛一彤 俞 涛 马建峰 梅晓海 高惕非
王昱旻 梁 赞 何 全

统稿人员 陈云立

前言 PREFACE

我国当前正处在轨道交通工程大规模、高速度、超常规、跨越式建设的高峰期,轨道交通工程建设投资大、工期长、风险高,无论是车站深基坑,还是盾构推进,都存在重大风险源与危险源。轨道交通工程施工险情不断,质量安全事故多发。为了帮助广大轨道交通工程建设的施工、监理、勘察、设计、监测、建设单位全面了解轨道交通工程施工期间的重大危险源、风险源,对险情和事故进行事先控制、主动控制,从而减少、防范事故的发生,我们收集了上海等城市轨道交通工程事故案例,组织编写了《城市轨道交通工程质量安全事故警示录》,以起到对全国轨道交通工程建设的警示作用和事故控制作用。

轨道交通工程事故主要类型:车站深基坑工程、区间隧道施工、盾构进出洞、旁通道冻结施工、周边管线险情、安全事故和其他事故。本书从事故发生经过描述、分析事故发生的主要原因、从中应吸取的教训和纠正、预防措施等角度进行全面叙述。本书的出版得到了上海市城乡建设和管理委员会、上海市建设工程设计文件审查管理事务中心、上海市建设工程安全质量监督总站、上海建工集团、上海城建集团、中国铁路建设股份有限公司、中国铁道建筑总公司等单位 and 专家的大力支持与帮助。

本书希望能够为全国轨道交通工程建设降低风险、减少事故、控制险情起到积极的预防和预控作用。限于时间仓促和水平局限,本书内容上难免挂一漏万,还存在不少问题和错误,疏漏之处还望各位同行、广大读者不吝赐教。

编 者

2014 年 9 月

第 1 章 车站风井出入口深基坑工程事故	1
案例 1 基坑地下连续墙涌砂事故	1
案例 2 中间井基坑地下连续墙涌砂事故	2
案例 3 轨道交通基坑坍塌事故	4
案例 4 基坑底突涌事故	25
案例 5 区间段基坑坍塌事故	28
案例 6 出入口险情事故	29
案例 7 基坑渗漏事故	30
案例 8 车站换乘通道渗漏事故	35
案例 9 车站标准段基坑开挖坍塌事故	37
案例 10 轨道交通车站风井施工事故	39
案例 11 轨道交通风井施工涌水事故	42
案例 12 车站渗漏水事故	44
案例 13 地下连续墙侵界事故	45
案例 14 明挖区间事故	48
案例 15 明挖区间坍塌事故	51
案例 16 车站围护坍塌事故	52
案例 17 废弃雨管线渗漏导致基坑坍塌事故	53
案例 18 基坑开挖土方滑坡坍塌事故	54
第 2 章 区间隧道工程施工事故	57
案例 1 区间隧道上方建筑物受损事故	57
案例 2 区间隧道施工造成地面隆起、管线损坏事故	60
案例 3 隧道工程盾构隧道穿越地下连续墙渗漏事故	62
案例 4 盾构穿越拔桩区螺旋机被卡事故	67
案例 5 盾构掘进时发生轴线偏移测量事故	72
案例 6 暗挖隧道透水事故	75
案例 7 矿山法施工区间隧道坍塌事故	77

第3章 盾构进出洞事故	79
案例1 盾构出洞渗漏事故	79
案例2 盾构进洞涌水涌砂事故	83
案例3 区间隧道上方路面塌陷事故	88
案例4 中间风井盾构进洞涌砂事故	89
案例5 盾构进洞地面塌陷事故	92
案例6 盾构泥中进洞渗漏事故	94
案例7 盾构进洞涌水涌砂事故	104
案例8 区间隧道洞口地面沉陷事故	106
案例9 冰冻加固区盾构进洞渗漏事故	107
第4章 旁通道施工事故	110
案例1 旁通道冻结孔涌砂事故	110
案例2 区间隧道工程联络通道冻结开挖坍塌事故	112
案例3 区间隧道旁通道涌砂事故	117
案例4 区间隧道矿山法开挖坍塌事故	119
案例5 旁通道矿山法开挖坍塌事故	120
第5章 周边管线事故	123
案例1 合流污水管漏水事故	123
案例2 车站顶板进水事故	126
第6章 安全事故	129
案例1 洞圈渗漏封堵引发的火灾事故	129
案例2 机械设备伤害事故	132
案例3 钢支撑坠落事故	134
案例4 触电事故	135
案例5 龙门吊拆除事故	137
案例6 电瓶车撞击脚手架事故	139
第7章 其他事故	141
案例1 轨道交通支线隧道受损事故	141
案例2 模板支架失稳坍塌事故	145
案例3 停车场检修联合库工程坍塌事故	147

第1章 车站风井出入口 深基坑工程事故

案例1 基坑地下连续墙涌砂事故

一、工程概况

某轨道交通车站位于城市主干道路下,车站主体为地下2层矩形框架结构,结构内缘全长193.0 m,标准段净宽21.58 m,端头井开挖深度为18.3 m,端头井地下连续墙围护深度为33.5 m。车站主体和附属结构采取明挖顺作法施工。

该工程南端头井地质勘察报告显示,地下②₃层砂质粉土层约12.3 m;④层灰色淤泥质黏土层厚约2.4 m;⑤₂层为微承压含水层,层顶埋深为19.5 m,层底埋深为36 m;整个南端头井缺失⑥层暗绿色黏土层(隔水层),⑤₂层直接与⑦₂层连通。基坑坑底未进入⑤₂层,端头井地下连续墙也未将⑤₂层隔断。⑦₂层承压含水层承压水头埋深为2.7 m。

二、事故经过

2008年4月13日17:00,车站南端头井DQ-63和DQ-64地下连续墙接缝在坑底以下位置出现大量漏水(见图1-1,该部位垫层在10:00左右已浇筑完成),造成南端头井西南角施工便道局部下陷。施工单位遂启动抢险应急预案,17:45左右采取坑内袋装水泥压封、坑外使用阿托拉斯(Atlas)引孔压注聚氨酯及双液浆进行处理,使得漏水情况逐渐得到控制,至4月14日3:00堵漏成功,总计使用聚氨酯



图1-1 基坑地下连续墙渗漏

2.25 t,水泥 50 t。因抢险及时,未对周边环境造成严重影响。截至 5 月 21 日,南端头井中板混凝土已浇筑完成。此次漏水发生在车站南端头井 DQ-63 和 DQ-64 地下连续墙的接缝位置,深度在坑底以下(坑底开挖深度为 18.3 m)。

三、事故原因分析

由于原本土质条件差,在地墙施工之前的清障对原状土产生了很大的扰动,地下连续墙在施工中产生渗漏缺陷,加上该工程南端头井缺失⑥层土(隔水层),⑤₂层微承压水层和⑦₂层承压水层上下连通,造成⑤₂层微承压水水量丰富而且水压力较大,巨大的水压压力差造成地下水从地下连续墙的薄弱点渗漏进基坑。

四、事故经验教训

(1) 应充分辨析水文地质条件对地下连续墙施工和基坑开挖的影响,对可能存在的地下障碍物的位置、数量、深度等进行详细排摸,并采取相应的预防措施,选用相应的机械设备、施工工艺。

(2) 应及时对监测报告的数据进行深层次分析,对地下连续墙侧向变形、支撑轴力、地表水位等日变化量较大的点进行排查,分析造成变化大的原因,及时预防可能存在的质量隐患。

案例 2 中间井基坑地下连续墙涌砂事故

一、工程概况

某轨道交通工程区间中间井位于 2 条城市主干道交叉口。主体为地下两层结构,明挖顺作法施工,井结构净尺寸长为 13.80~14.243 m,宽为 11.06 m,基坑开挖深度为 36.596 m。该井围护结构采用 1.2 m 宽地下连续墙,槽段深度为 61 m,采用十字钢板接头形式,共计 18 幅地下连续墙。

地质勘察报告显示,中间井位置 85.55 m 深度范围内共划分为 8 层土,其中微承压水分布于⑤₂砂质粉土夹粉质黏土层中,揭示的顶板埋深为 23.2~24.2 m,层厚为 3.6~3.8 m;第一承压含水层承压水分布于⑦₁黏质粉土层、⑦₂粉细砂层中,⑦层顶板埋深为 30.0~30.8 m、层厚为 15.8~16.2 m;第二承压含水层承压水分布于⑨粉细砂层,顶板埋深为 68.8~71.3 m。

二、事故经过

2008年5月12日14:45左右,当该井开挖至第七道围檩下约3 m位置时,在X-5、X-6(中间井西南角)地下连续墙接缝处突然出现大量漏水情况,且夹带大量泥沙(见图1-2)。造成中间井南侧地面下沉35 cm左右,使原本应拆迁而保留作为施工用房的两层楼出现裂缝(见图1-3),同时,与两层楼连接的某公司的四层技术中心用房与主楼拉裂宽度约为3 cm,该公司100 mm口径上水管断裂。现场立即启动应急预案,对漏点采取压土封堵措施。由于水压力较大,现场采取压土封堵措施无效,考虑到漏水点处于承压水层,为确保安全,经各方研究决定,采取回填土及回灌水措施。从15:40起现场开始回填土及回灌水,至13日凌晨1:00,土方回填至第五道围檩位置,确保了整个基坑及周边环境的稳定。

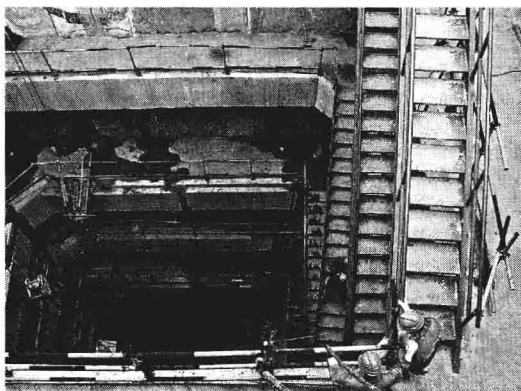


图1-2 地下连续墙接缝渗漏



图1-3 基坑渗漏造成周边建筑开裂

三、事故原因分析

本起险情主要是由于地下连续墙存在夹泥缺陷,而坑外承压水水头压差大所导致。

根据地下连续墙取芯结果表明,在编号X-5与X-6地下连续墙接缝十字钢板方向在36 m深度位置出现局部夹泥,与漏水位置基本一致,其余部分地下连续墙质量良好。

从施工记录和地下连续墙实际开挖面情况分析,产生夹泥有两个因素:

(1) 钢筋笼下放过程: 在钢筋笼下放过程中有可能出现局部塌方或者由于钢筋笼摩擦造成侧面泥块的脱落。

(2) 放置接头箱、导管和回填石子过程: 从钢筋笼就位到混凝土浇筑过程中需要进行

放置接头箱、导管和回填石子等一系列的工序,由于这一过程总共花了 8 h,在此期间还很有可能出现小块的塌方。

由于底板位置接驳器钢筋过密,导致塌方泥土无法向上顶升而滞留在接驳器处和十字钢板位置,造成地下连续墙接缝处夹泥。这一点可以从 36 m 位置处取出④土层的夹泥以及该槽段实际浇注超 11 m³混凝土两方面得到印证。

另外,由于地下连续墙已将⑦层土完全隔断,因此,方案仅考虑在坑内设置疏干井,坑外未对⑦层土采取降压的措施。随着基坑的逐步挖深,地下连续墙承受坑外水土压力也在逐步增加,但当开挖至 33 m 位置时,36 m 处接缝夹泥不能抵抗坑外水土压力,且坑外的泥水补给速度非常快,导致坑内土方封堵没有任何效果,最终造成险情。

四、事故经验教训

(1) 使用十字钢板接头地下连续墙接缝并不是万无一失的,在今后的施工过程中应当杜绝麻痹思想。由于地质情况的差异、施工间隔时间的长短以及施工泥浆配置等各种因素,都可能导致在十字钢板接缝位置夹泥,从而造成基坑特别是超深基坑的施工风险。

(2) 对于出现明显或潜在风险的地下连续墙接缝应予以重点关注,应采取旋喷等措施进行处理,防患于未然。同时,对于类似的超深地下基坑,设计也应对可能发生渗漏的土层采取处理措施,从根本上杜绝漏水情况的发生。

(3) 由于类似超深基坑在发生渗漏后未必能在短时间内控制险情,因此建议在超深基坑槽壁接缝位置预设注浆孔或者降水井,并在现场配备足量的堵漏剂或抽水泵,一旦发现漏水后能够在第一时间进行处理,避免事态迅速扩大以至于造成严重的社会影响。

案例 3 轨道交通基坑坍塌事故

2004 年 4 月 20 日 15:30 左右,某城市轨道交通环线某标段的一段明挖区段隧道,在挖至第 10 道(也是最后一道)支撑的时候,长约 100 m 区段的围护体系完全崩溃,造成 4 人死亡,紧邻基坑的某公路也相应塌陷中断,相关的城市生命线(如煤气管线,66 kV 高压电缆)等严重受损。这是该市轨道交通建设史上最严重的一次工程事故,在世界轨道交通建设领域内也产生较大的影响。该事故以调查详细、客观闻名,事故资料对地下工程设计、施工及风险管理有重大参考意义。

一、工程概况

当地政府为减少交通拥堵,缩短市民的乘车时间,计划修建一条新的轨道交通线路(称为轨道交通环线)。该轨道交通线路全长 33.6 km,将建设 26 个车站,该轨道交通环线将分 5 个阶段逐步实施,预计 2009 年可以顺利通车。发生事故的施工地点位于轨道交通线路的 CCL1 段和 CCL2 段,其中 CCL2 段长约 211 m,基坑深度为 34 m,位于主干道和某公路之间,周边主要有 5 栋高层建筑,大部分都是商业建筑;最高的一栋共有 42 层楼。轨道交通建设时,需充分考虑周围建筑物的影响,并进行临时工程和地下连续墙的建设,以保证周围土层不会发生稳定性破坏,以免对周边建筑和公共设施造成破坏,如图 1-4 所示。

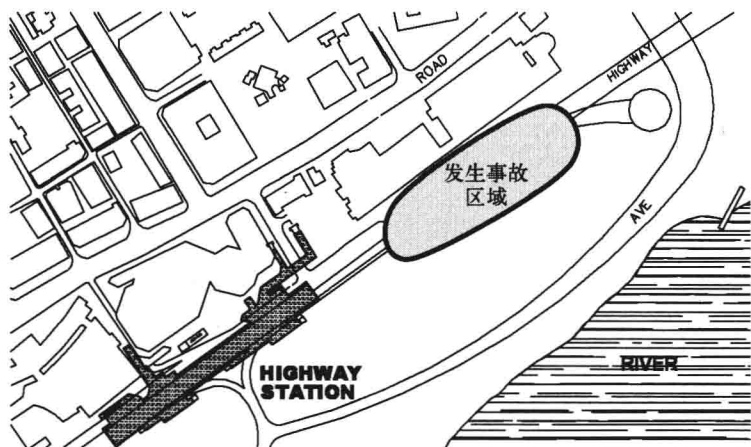


图 1-4 发生事故周边环境图

发生事故的基坑支撑结构共分为 3 种类型,即 K 型、M1 型、M2 型及 M3 型。在 2004 年 4 月 20 日发生事故时,在 CCL2 段发生破坏的主要类型为 M2 和 M3 型支撑,其中 28 个 M2 型支撑除有 12 个没有发生破坏,其余全部崩塌,M3 型支撑则无一幸免,全部破坏;K 型断面也曾出现过险情。事故损失非常严重。C824 标段的总体布置如图 1-5 所示;CCL2 支撑结构类型如图 1-6、图 1-7 所示。

在该工程投标之前(1998~2000 年),勘察单位已经进行了相关的地质资料调查,并在北部的某区域进行了现场调研,取得了 14 个钻孔的岩样,在实验室进行了相关土力学试验,以获得岩土体的物理力学参数。合同招标后又于 2001 年 6 月至 7 月期间,总共进行了 60 次钻孔取样,并对轨道交通沿线进行了实地调查,最终得到该工程地层详细的物理力学指标。调查证实了在该地区北部存在海相沉积土和古沉积土,海相沉积土出现在地面 15 m 以下深处,一直延伸到地面以下 46 m 处,其分布并不均匀。

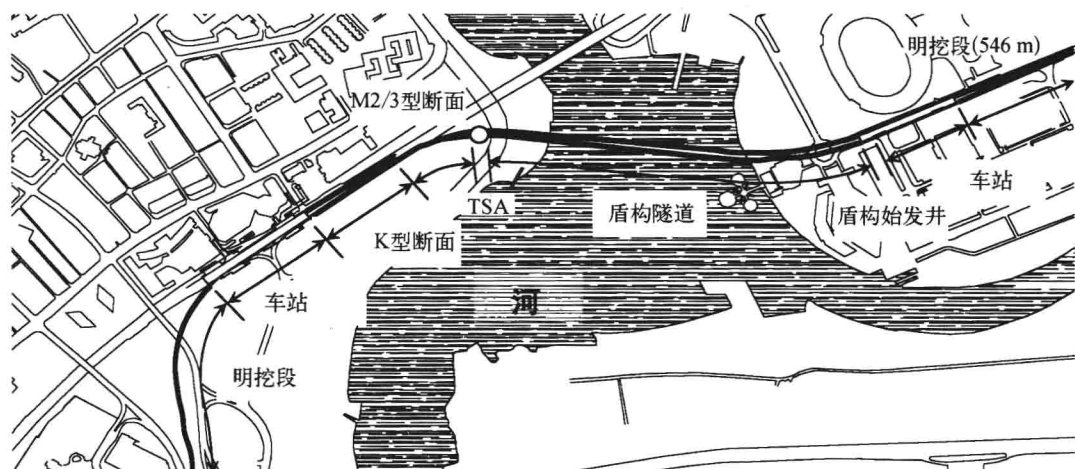


图 1-5 事故标段的总体布置情况

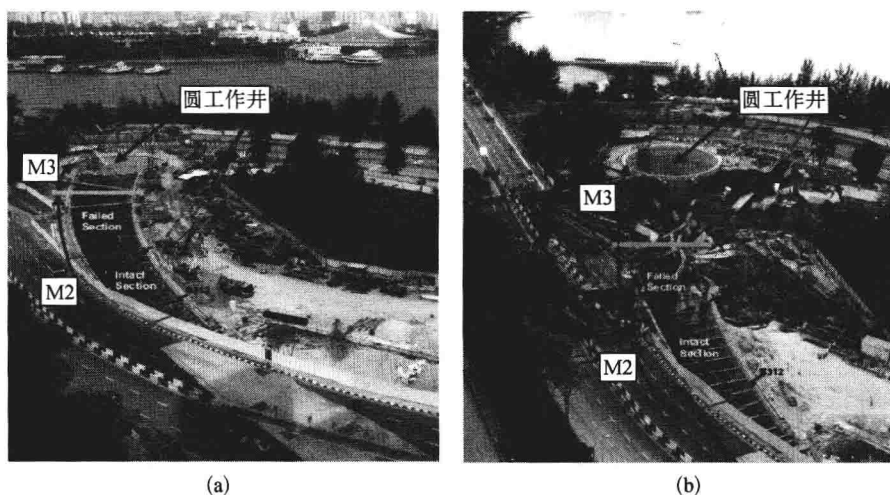


图 1-6 事故发生前后的基坑施工现场(支撑严重破坏)

(a) 坍塌前;(b) 坍塌后

地面以下的第一层为填土,填土性质较为稳定;填土以下为海相沉积土和河相沉积土,是由软黏土和泥沙冲积而成;在海相沉积土的下方,则形成的主要是古沉积土;地下水位线较低,仅位于地表以下约 2 m。该段地质剖面图如图 1-8 所示。

据详细的勘察资料,某公路附近轨道交通基坑主要土层包括人工填土、河相沉积土、海相沉积土、古沉积土 4 种类型。土层依次为: ① 人工填土层,厚度为 5~10 m;② 海相沉积土层,厚度为 10~15 m;③ 河相沉积土层,厚度为 2~5 m;④ 海相沉积土层,厚度为 15~20 m;⑤ 最底层为古沉积层。基坑地质剖面图如图 1-9 所示。

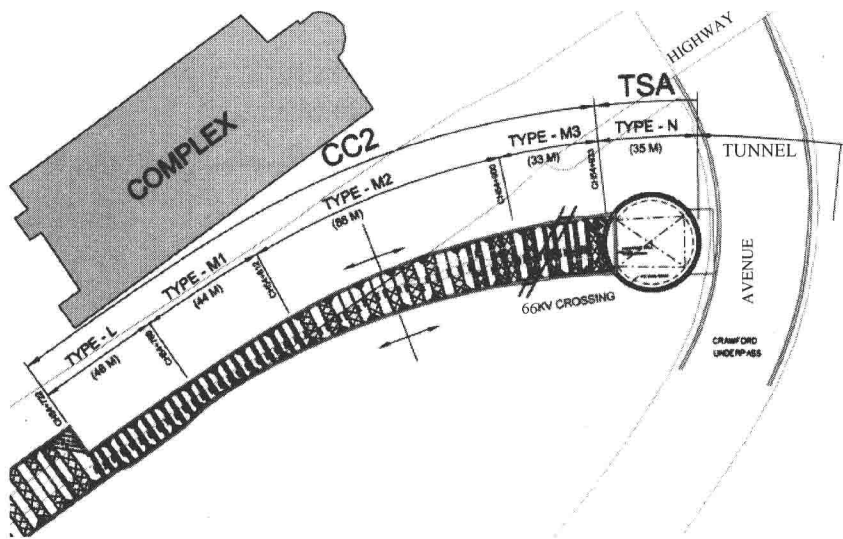


图 1-7 事故发生段支撑结构类型图

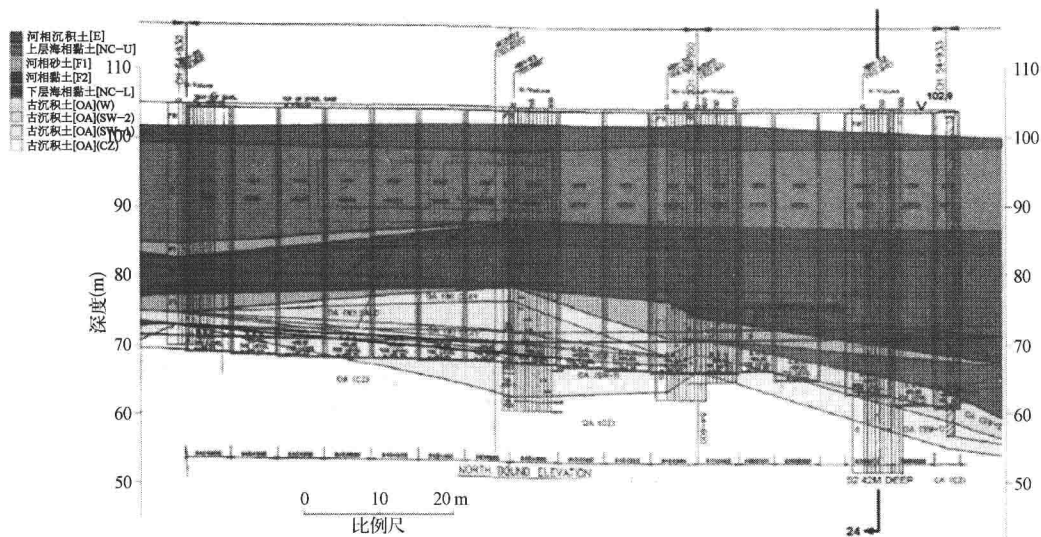


图 1-8 地质剖面图

压缩试验证实了海相沉积土固结比(OCR)比较低,这与历史上的记录基本是一致的。上部的海相沉积土固结比(OCR)为 1.2~1.5,下部的海相沉积土固结比(OCR)为 1.0~1.2。海相沉积土的不排水抗剪强度为 10~15 kPa,灵敏度为 2~4。

二、事故经过

1. 事故发生前的一些前兆

1) 盾构始发井事故

2003 年 8 月 5 日,在盾构始发井的开挖挖至第 7 道支撑时,位于角部的 S530 斜撑

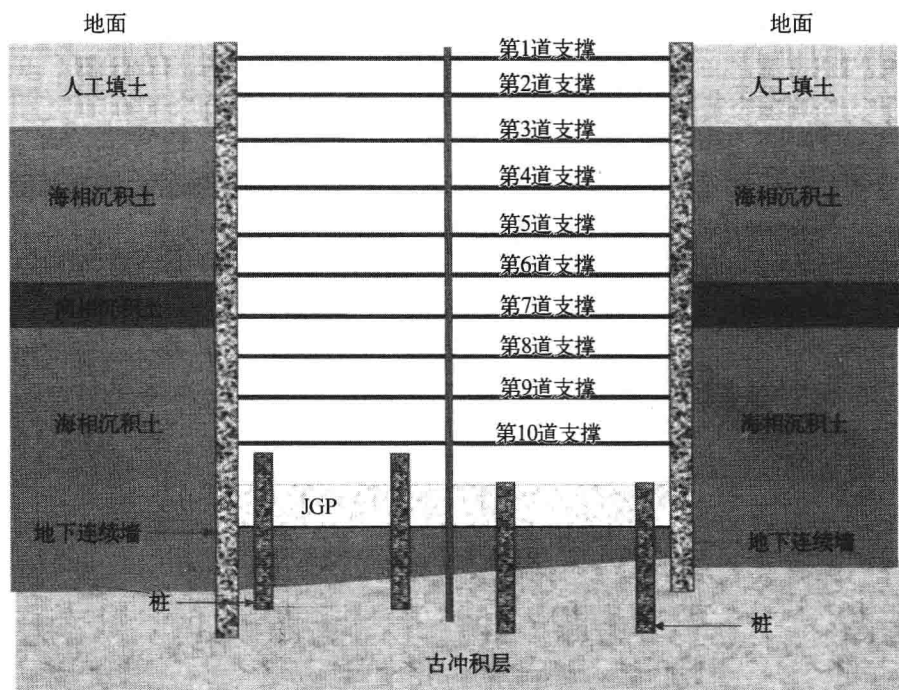


图 1-9 基坑地质剖面图

的混凝土牛腿突然碎裂,随后地下连续墙背后出现明显的沉降槽,最大土体沉降超过 400 mm,土体测斜仪的最大读数超过 500 mm;相邻幅地下连续墙的接头部位出现开裂缝。事故发生后立即停止了开挖,重新浇注了更大尺寸的牛腿,并对第 6 道支撑重新施加了轴力,同时加大了对这一区域的监测频率。针对这一事故建设单位认为由于墙后土水压力荷载取值偏小而导致支撑结构过载,而承包商则认为设计不存在问题,经过历时 3 个月的反复讨论后承包商承诺将加大监测频率并辅以一系列的应急预案,开挖又重新开始。

2) K 型地下连续墙断面事故

K 型墙断面紧邻重要建筑物和管线,开挖深度也较大,被建设单位视为高风险的断面。该断面于 2003 年 6 月开始开挖,到 2003 年 7 月挖至第 3 道支撑的时候出现纵向滑坡而停工,9 月又重新开始开挖。到 2003 年 12 月附近的 I-63 测斜孔达到警戒值,2004 年 1 月初地下连续墙的测斜值突然大幅增加而越过设计变形极限值。由于地下连续墙的变形过大导致 S286A 号支撑的牛腿出现裂缝,同时附近的地下连续墙接头也出现开裂,情形与前述的事故如出一辙。施工因此立即停止,并采取一系列的阻险措施,包括在第 1~6 道支撑各加设一根斜撑,在开挖面上浇注 300 mm 的素混凝土作为临时支撑。对墙后的土体进行化学灌浆等。

3) M2 和 M3 型地下连续墙断面事故

在 M2 和 M3 型断面开挖过程中也同样出现地下连续墙变形超出设计变形的情况,承包商则通过反演分析对变形控制的标准进行放松,而确保开挖继续下去。在这期间基坑旁边建构筑物也不同程度地受到了一些影响,主要包括地面沉降、建筑墙体裂缝以及构筑物的损坏等情况,屋主投诉不断。

2. 事故发生过程与阻险措施

1) 钢围檩屈服

截至 2004 年 4 月 20 日,明挖段 M2 型和 M3 型断面已经开挖到第 10 道支撑的标高,8:00 有两组工人在基坑底下作业分别进行开挖面平整和支撑安装准备工作。8:45 左右现场工人听到了异常的响声,这种响声每 10 min 就传来一次。9:15 联营体的现场工程师在进行现场检查时又听到两声,现场工程师发现 S338 北侧围檩的加劲槽钢和翼缘出现屈服(见图 1-11)。10 min 后又发现 S335 南侧的围檩屈服。10:00 左右现场工程师向施工经理和建设单位的相关人员报告了现场情况,并要求监测单位提供 I-104 测斜孔的最新读数,但监测单位反馈最近三天没有测读数,4 月 17 日读数是 349.81 mm。10:30 承包商的项目经理、现场经理和现场工程师对现场进行了联合检查,发现围檩屈服的情况更加严重,响声更频繁。

2) 现场采取应急预案

对现场进行了联合检查之后承包商意识到了事情的严重性,立即研究应急预案和对策。首先考虑尽快把第 10 道支撑装上,但是支撑施工的分包商认为要让第 10 道支撑真正发挥作用可能需要至少 4~5 天时间,大量的作业人员在基坑底下的安全没有保障,因此该提议遭到了分包商的拒绝。接下来又考虑在开挖面上浇 200 mm 厚的素混凝土垫层作为临时支撑,在围檩的上部浇注 C50 的混凝土作为对围檩上部的加强,在下部加焊槽钢作为补强。大家认为该方案实施快捷而且很快能起到作用,得到了一致同意。

3) 支撑体系崩溃

13:00~14:00 承包商开现场协调会,在会上分析了最新的地下连续墙变形和支撑轴力的读数。I-104 的读数从 4 月 17 日的 349.81 mm 发展到 4 月 20 日的 440.55 mm,三天时间地下连续墙变形增加了 90 mm,并且两侧对称部位的监测值出现明显的不对称性,见图 1-11、图 1-12(基坑监测点布置见图 1-10)。支撑的实时监测数据表明从 10:00 开始第 9 道支撑的轴力开始下降,而第 8 道支撑的轴力则相应上升(见图 1-13)。从支撑轴力曲线可以明显看出,第 9 道支撑和第 8 道支撑发生重大突变。

在开会的同时现场正在实施应急预案,对开挖面进行了适当的平整,13:30 左右混凝

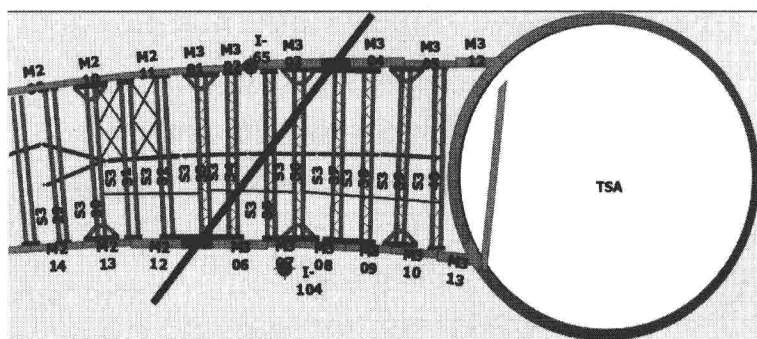


图 1-10 M3、I-65(土体)和 I-104(墙体)监测点及钢支撑布置图

测斜仪监测点I-104(土体)和点I-65(墙体)变形曲线

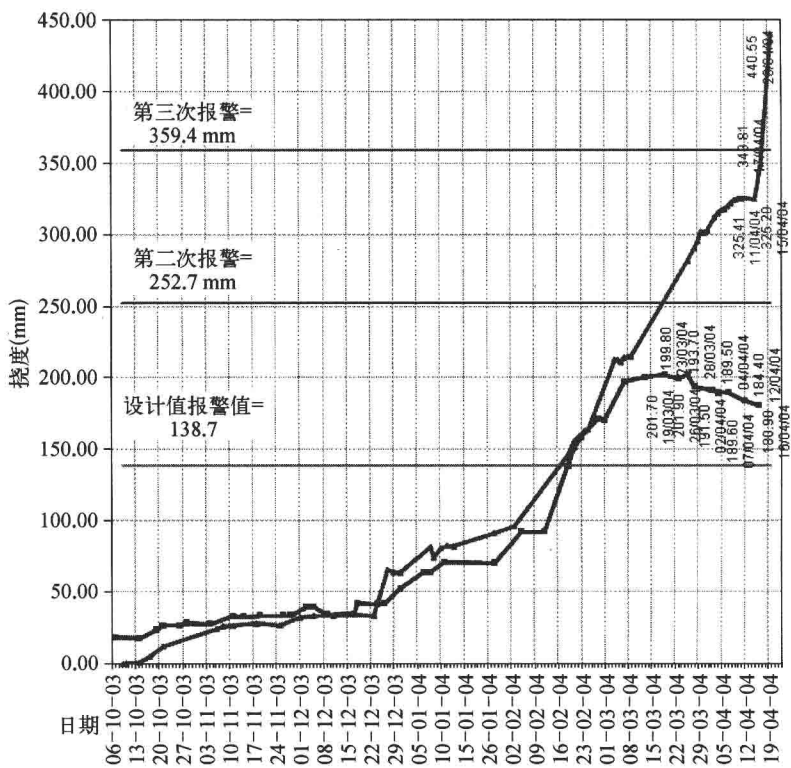


图 1-11 M3 测斜仪监测曲线

土罐车来到了现场,开始对围檩进行混凝土补强浇注,但是由于围檩的下垂严重,混凝土根本无法立住。

14:00~15:00,承包商在现场办公室召开又一个内部会议,在会上项目经理将现场出现的险情以及采取的应对措施向项目副总指挥进行了汇报。

15:00,建设单位在现场办公室召开紧急会议,承包商在会上说明了现场的情况和采