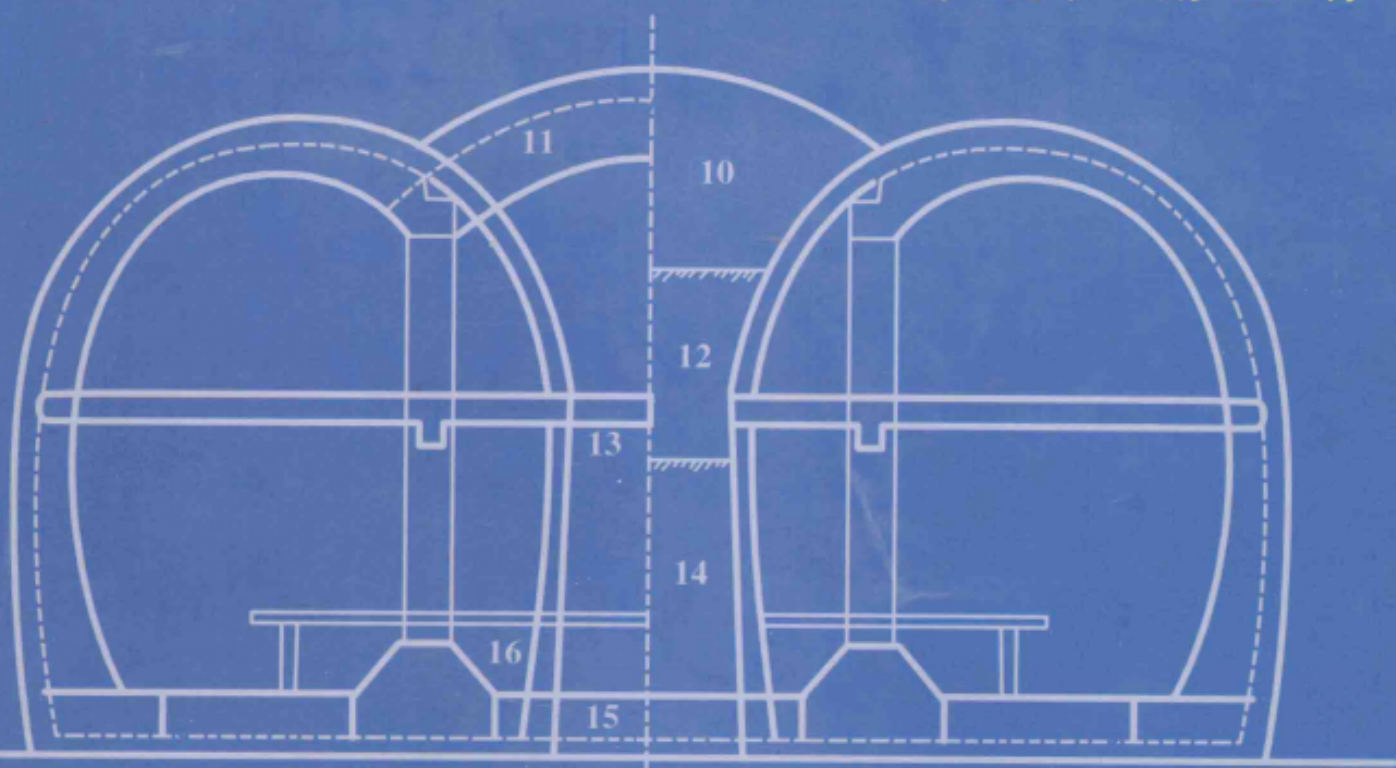


北京地铁复一八线土建 工程施工技术

彭泽瑞 主 编
郭建国 副 主 编



责任编辑：王树理 金陵
封面设计：郭建国 赵春美



ISBN 7-5046-3631-2



9 787504 636317 >

ISBN 7-5046-3631-2 定价：198.00元

北京地铁复一八线土建工程施工技术

彭泽瑞 主 编
郭建国 副 主 编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

北京地铁复一八线土建工程施工技术 / 彭泽瑞主编 .—北京: 中国科学技术出版社, 2003.8
ISBN 7-5046-3631-2

I. 北... II. 彭... III. 地下铁道—铁路工程—工程施工—北京市 IV. U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 071544 号

中国科学技术出版社出版

北京海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081

电话: 62179148 62173865

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京威远印刷厂印刷

开本: 889 毫米×1196 毫米 1/16 印张: 17.25 插页: 25 字数: 470 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

定价: 198.00 元

(凡购买本社的图书, 如有缺页、倒页、
脱页者, 本社发行部负责调换)

目 录

第一章 总论	(1)
第二章 勘察与设计概述	(4)
第三章 车站结构的施工技术	(18)
第一节 采用浅埋暗挖法施工的车站	(18)
1. 西单车站施工技术	(18)
2. 天安门西站施工技术	(30)
3. 王府井车站和东单车站	(42)
第二节 采用盖挖逆筑法施工的车站	(49)
1. 天安门东站施工技术	(49)
2. 永安里车站施工技术	(64)
3. 国贸车站施工技术	(74)
第三节 采用明挖法施工的车站	(82)
1. 大望路车站的施工技术	(82)
第四节 地面车站	(88)
1. 四惠站和四惠东站两地面车站的施工技术	(88)
第四章 区间隧道和其他结构物施工技术	(94)
第一节 概述	(94)
第二节 复兴门折返线试验工程及区间隧道施工技术	(95)
第三节 王府井—东单区间折返线及渡线的施工技术	(101)
第四节 平顶直墙浅埋暗挖法施工技术	(106)
第五节 “热—八”区间隧道半断面插刀盾构施工技术	(109)
第六节 地铁暗挖工程竖井施工技术	(121)
第七节 暗挖区间隧道标准断面复合衬砌承载能力的试验研究	(126)
第八节 半断面插刀盾构调头室暗挖施工技术	(130)
第九节 DT46 型全液压模板台车的研制与应用	(133)
第五章 车辆段大平台施工技术	(137)
第六章 辅助施工技术	(146)
第一节 大管棚超前支护技术	(146)
第二节 浅埋暗挖法的注浆技术	(149)
第三节 隧道水平冻结施工技术	(167)
第四节 河边暗挖施工软弱地层处理技术	(171)
第七章 结构防水技术	(175)
第八章 施工降水与回灌技术	(193)
第九章 施工测量与监控量测	(224)
第一节 施工测量	(224)
第二节 监控量测	(238)
第三节 监控量测工程实例	(245)
第十章 轨道结构施工技术	(259)
第十一章 基本经验	(265)

第一章 总 论

1 “复一八”线在北京地铁路网中的地位和作用

“复一八”线是北京地铁1号线的中段。北京地铁1号线是贯穿市中心区的东西线路，位于北京市东西轴线上，规划全长50km，其中西段工程（复兴门—苹果园）已于1969年建成通车，中段即“复一八”线（复兴门—八王坟）于1999年9月28日建成通车，东段工程（八王坟—通州）于2002年3月正式开工，计划2003年9月建成通车。三段工程修建于不同的历史时期和采用了不同的修建方法，但是这三段工程中，中段工程即“复一八”线既是修建技术难度最大的一段，也是北京市客运交通中客流最大的一段，系最主要的东西交通干道。“复一八”线建在长安街和建外大街下面，地面沿线有中南海、天安门、人民大会堂、历史博物馆、故宫、中山公园、劳动人民文化宫等，是我国许多重大政治、文化活动的场所；此外，沿线还有西单、前门、王府井、东单等繁华商业区以及CBD商圈。因此，“复一八”线是北京公共交通路网中东西向最主要的交通大道，是客运交通的大动脉。“复一八”线近期列车6辆编组，最小行车间隔为2分钟，高峰小时最大断面运输能力为4.32万人次。“复一八”线的建成通车，对于方便居民出行及缓解地面交通拥挤起到了重要作用。

2 “复一八”线工程规模大、工程难点多、技术复杂，其修建过程是推动技术进步、不断创新、锻炼队伍的过程

2.1 工程规模

“复一八”线始于早期建成的复兴门站，迄于八王坟站（现称四惠站），全长13.5km，其中地下线10.979km，地面线2.51km；新建地下车站8座（西单站、天安门西站、天安门东站、王府井站、东单站、永安里站、国贸站、大望路站），地面站2座（四惠站、四惠东站），改建车站1座（建国门站）。全线平均站间距1.226km，最大站间距1.689km，最小站间距0.774km。全线新建出入口39个，车站风道17条，区间风道8条；设牵引变电所11座，自动扶梯84部。

2.2 工程特点及难点

2.2.1 特点

(1) 工程地理位置重要，是规划地铁1号线之中段，在首都中心区国宾大道下面修建，举世瞩目；工程效益显著，有利于缓解长安街交通拥挤及方便市民出行。

(2) 工程所处环境条件复杂，地面车水马龙，两侧高大建筑物林立，且多为国家重要建筑，如人民大会堂、天安门城楼、历史博物馆及北京饭店等；地下重要管网密布，因而施工难度甚大。

(3) 工程地质、水文地质条件复杂，属第四纪地层，地层自稳能力差，地下水对施工影响大。

(4) 为满足地铁运营需要，土建工程结构型式多样、技术复杂。

(5) 地铁工程涉及通信、信号、通风、给排水等专业多，需要土建配合的工作量大。

(6) 工程规模大，投资多达七十多亿元。

(7) 工程设施多建在地下，且受地下水影响大，如出现质量问题整治和改建十分困难，因而对地下结构工程质量要求高，提高设计和施工标准以延长其使用寿命。

2.2.2 技术难点

(1) 所制定的地下工程施工方案，必须能对地面道路和高大建筑物的沉降进行有效的控制，这是工程施工难点之一。

(2) 地下工程施工对地下管网及地下构筑物的保护措施必须可靠、稳妥，保证其安全和正常使用，这

是工程施工难点之二。

(3) 在软弱地层和有水条件下进行地铁工程施工, 必须保证车站、区间结构安全及地面不发生过量沉降, 并创造基本无水作业条件, 这是工程施工难点之三。

(4) 由于地下车站所处环境条件不同, 设计结构型式不同, 施工方法亦不同, 因此车站修建技术复杂, 此是工程施工难点之四。

(5) 确保地下工程混凝土质量及防水施工质量, 做到结构自防水及防水层完整, 达到不渗不漏, 这是工程施工难点之五。

2.3 “复一八”线土建工程技术创新点

地铁“复一八”线是在复兴门折返线工程(1986年8月15日开工至1987年12月24日竣工)首次在北京采用浅埋暗挖法取得成功基础的上开始修建的, 它一改以往北京地铁一、二期工程惯用的明挖大开槽的修建方法, 开创了北京城区采用暗挖修建地铁的新时代。尤其是通过“复一八”线的建设成功, 丰富与发展了地铁的修建方法, 创造出一整套暗挖修建城市地铁工程的新技术、新工艺新方法。

2.3.1 区间隧道绝大部分采用浅埋暗挖法修建是成功的, 技术上是成熟的。

“复一八”线区间隧道是在第四纪陆相含水地层中按新奥法(NATM)原理, 创造出一套具有中国特色的施工方法, 目前挖车站与隧道施工中所贯彻的“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”八字施工原则, 精辟地概括了这一方法的实质。1987年在国家科委主持的鉴定会上, 被命名为“浅埋暗挖法”。浅埋暗挖法修建地铁区间隧道、车站及其他结构物施工, 除显示出具有一般暗挖法干扰交通少、拆迁量小、对居民生活干扰少、噪声及污染小等优点外, 还有一些其他的优点: 与盾构法相比, 它毋需在线路中心开挖施工竖井, 占据道路或造成大量拆迁, 可以利用在线路一侧的永久风井作为施工竖井, 通过横通道进入线路中心, 不仅最大程度地减少了对地面的干扰, 而且节约了投资。

浅埋暗挖法不仅用于修建区间隧道, 而且还用于修建变断面渡线隧道、最大跨度达到14.46m。在“复一八”线建设过程中, 不仅总结出单线区间隧道的整套施工技术, 而且创新发展总结出一套适用于双线隧道、大跨(14m以上)变断面渡线隧道等施工技术。当地下空间受到限制, 隧道难以采用拱形断面时, 还创新开发了双线矩形断面隧道(双跨平顶直墙断面暗挖隧道)施工技术, 从而丰富和发展了浅埋暗挖法, 扩大了其应用范围。

2.3.2 按照因地制宜、安全可靠、先进可行、经济合理的原则, 地铁车站采用多种修建方法

新建8座地下车站系根据车站地理位置、工程地质及水文地质、地面建筑物及地面交通、地下管网及地下构筑物等情况, 按照因地制宜、安全可靠、先进可行、经济合理的原则, 分别采取不同的修建方法。其中, 西单站、天安门西站、王府井站、东单站采用浅埋暗挖法修建, 天安门东站、永安里站、大北窑站采用盖挖法修建, 热电厂站(现称大望路站)采用明挖法修建。而采用浅埋暗挖法和盖挖法修建的地铁车站中, 根据不同情况和设计、施工队伍的经验, 其修建方法有所不同, 各有特色。

例如, 西单站是我国采用浅埋暗挖法修建的第一座双层大跨度车站, 结构宽26.04m、高13.5m, 长260m, 覆土层厚仅6m, 在理论分析及模型试验基础上, 车站开挖、支护采用双眼镜工法、大管棚与小导管注浆相结合的棚架体系及三拱两柱结构中采用型钢——钢筋混凝土顶纵梁及钢管混凝土柱等, 实践证明是科学合理、安全可靠的; 天安门西站在吸取西单站双眼镜法、天安门东站盖挖逆筑法基础上, 创造出浅埋暗挖“洞桩柱法”(也可称“地下盖挖逆筑法”), 这一施工方法的突出优点是: 工序简单、施工方便、结构受力明确、临时支护工程量较小、施工安全性高; 王府井站、东单站采用暗挖桩柱法修建, 其特点是: 合理地利用车站上部无水地层, 施作车站下部含水地层的护壁桩及中间柱, 能确保地下开挖空间和洞体的稳定。

用盖挖法修建的三座车站, 其共同点是: 先调整地面交通, 做好围挡, 改移、加固地下管线; 然后施作周边围护结构、中间桩柱及顶板, 在顶板的保护下进行土方开挖和内墙、梁、板的钢筋混凝土灌注等工序, 直到底板封闭, 形成箱形结构。其不同点是: 三座车站采用了不同的围护结构, 天安门东站系在车站底部采用浅埋暗挖法先开挖4条导洞, 在导洞内灌注钢筋混凝土条形基础, 再开挖横洞, 将条形基础连成网格状, 以减小上部传到地基的应力, 提高车站结构的稳定性, 再在地面人工挖孔, 施作车站周边钢筋混

凝土桩和车站中间的钢管混凝土柱，安全可靠、施工进度快，从封路到恢复地面交通仅用了 139 天；永安里站采用 $\phi 600\text{mm}$ 的钻孔灌注桩与厚 45cm 钢筋混凝土内衬组成的桩墙侧壁结构，中柱采用个 $\phi 600\text{mm}$ 钢筋混凝土柱、柱基为 $\phi 1500\text{mm}$ 钻孔灌注桩；国贸站周边围护结构采用厚 60cm 地下连续墙加厚 20cm 钢筋混凝土的复合式衬砌，车站中柱采用了 $\phi 700\text{mm}$ 钢管混凝土柱，柱基为十字型桩基础（十字型桩系由厚 60cm、长 300cm 的两幅地下连续墙垂直相交而成，每根桩承受 $Q_{\max} = 8060\text{kN}$ ），持力层位于底板以下约 10m 深处的圆砾层中。

2.3.3 辅助施工技术得到进一步发展，为“复一八”线安全、顺利建成提供了有力保障。

“复一八”线工程全部穿行于第四纪陆相地层中，第四纪陆相地层主要由卵砾石、砂土和粘土沉积而成，自稳能力差，地下水主要为上层滞水、潜水和承压水，潜水含水层埋深一般在 18~24m，承压水埋藏于隔水层下部。“复一八”线工程均受到这三层水的严重影响。同时，“复一八”线还受到各种地下管网及构筑物影响。在这种条件下，如何确保工程安全和环境安全，针对工程具体情况采用辅助施工措施是十分重要的。

“复一八”线所采取的主要辅助施工措施有：

- (1) 注浆改良地层技术；
- (2) 施工降水技术；
- (3) 大管棚支护技术；
- (4) 在含水粉细砂层修建隧道采用水平冻结技术；
- (5) 地下管网拆改、加固技术等。

2.3.4 加强监控量测，做到信息化施工

地铁工程建设中，施工和量测是紧密结合的。监控量测除给日常施工组织提供有效的、量化的管理依据外，还为解决施工中技术关键问题提供有力的保证。“复一八”线监控量测做得较好，全线适时地记录了大量的各种量测数据，并及时反馈到主管部门，据此专人分析工程现状，做到及时调整施工方案及制度应采取的措施，从而保证了“复一八”线工程安全、顺利建成。

3 “复一八”线工程施工现场是一个大课堂，既有理论，又有实践，内容丰富多彩。参加建设的业主、设计、施工、监理等单位都受到锤炼，丰富了知识，增长了才干，为今后承担类似工程积累了经验

“复一八”线的建设经验是一笔宝贵财富，为北京地铁建设进行了必要的技术准备，也为全国各城市地铁建设提供了有益的借鉴。“总结经验，以利再战”是本书编写的目的。

第二章 勘察与设计概述

1 总体设计指导思想

依据 1985 年国家计委批复文件，北京地铁总公司委托北京市城建设计院于 1987 年进行了“复一八”线可行性研究报告编制和总体方案设计。首规委办公室和地铁公司曾多次组织协调会，按市领导和专家意见，形成了该线总体设计指导思想。

(1) 按客流调查、统计表明，“复一八”线是北京市客流量最大的线路，它的建设是已建成的 1 号线西段向东延伸的迫切需要和必然选择。

(2) “复一八”线的地理位置极为重要，该线建设既要满足首都北京重大政治、外交、文化、商务活动的需要，同时也要满足广大市民、游客的需要。

(3) “复一八”线建设要尽量减少对沿线环境的影响（包括文物、建筑、交通、观瞻、水文环境和减振降噪等）。

(4) “复一八”线结构型式设计要结合环境、地质、水文地质条件，对国内外施工工法，博采众长，大胆创新，达到安全经济、快速、高质标准。

(5) “复一八”线的建筑装饰要满足交通运营要求和方便乘客，经济、简洁、实用，并注意体现与区域环境建筑特色的融和。

(6) “复一八”线建设要设置渡线、停车线，以满足运营多方案组织的要求。

(7) “复一八”线设备系统应选用国内外当代成熟的先进技术和产品，并注意与已有的运营线路模式、制式的统一。

(8) “复一八”线建设要贯彻可持续发展战略方针，在一些站、段预留换乘、交叉以及线路东延的条件。

(9) 结合施工条件，充分利用地下空间，进行物业开发；为节约土地资源，在八王坟车辆段库房上部建造为平台，进行房地产开发。

2 线路与站位

根据 1983 年北京市轨道交通路网规划，地铁 1 号线线路走向已经确定，由苹果园途经复兴门、天安门、建国门、八王坟至通县东土桥，全长 50km。“复一八”线仅是 1 号线的中段，西起复兴门，经西单站、天安门西站、天安门东站、王府井站、东单站、建国门站、永安里站、国贸站、大望路站、四惠站，至四惠东站。其中复兴门站及建国门站于上世纪 70 年代建成，西单站于 1992 年 10 月建成。新建地下车站 9 座（其中包括改建的建国门站），地面站 2 座。换乘站为复兴门站、西单站、天安门东站、东单站、建国门站、四惠站。由复兴门站中心（B158+77.58）算起至四惠东站（B294+07）全长 13.5km，其中地下线 10.979km，地面线 2.51km。全线平均站间距 1226m，最大站间距 1689m，最小站间距 774m。

全线设折返线 4 处，单渡线 2 处，联络线 1 处。

线路平面最小曲线半径为 350m，最大曲线半径为 2000m。线路最大坡度为 30‰。

全线新建地铁出入口（从西单站算起）39 个，车站风道 17 个，区间风道 8 个。

全线设牵引变电所 11 座，设自动扶梯 84 部。

“复一八”线车站站台有效长为 158m，站台宽分为 11m、13m、14m、16m 四种。

在设置车站数量和车站位置时，均经过长时间的反复比较最终才确定下来。

2.1 天安门附近设一个站还是两个站

从客流方面看，无论是设一个站还是两个站，都承受不了节日突发性客流的冲击，必须关闭距突发性客流最近的车站才能保证节日乘车安全，国外的经验也是如此，所以车站仅考虑正常客流。由于天安门东站是换乘站，客流量较大，为 48000 人/h，而天安门西站客流量较少，远期客流仅 17000 人/h，两站合并修建一个规模较大的站还是可以的。

但从站间距来看，西单至王府井两站中心间距为 2994m，如天安门设一个站，则站间距为 1497m。

再从风亭及出入口设置的难易程度来看，由于天安门地区的特殊地理位置，新建的建筑物必须十分慎重。天安门设两个站，出入口及风亭可设在道路两侧，把风亭隐蔽起来；若设一个站，地铁出入口接入现有过街道，不再新设出入口（也难于新设出入口）。至于风亭，街面上找不出合适的位置布设，经调查，西端风亭可设在天安门西侧红墙内，东端风亭可设在劳动人民文化宫内。从施工条件看，天安门设两站，施工场地容易解决；设一站，施工场地不易解决，势必要从区间进入开挖车站，而且施工中必须严格控制地面沉降量，否则将损坏天安门长安街的石板路面。

至于从造价上看，显然两站方案较一站方案要多一个站的土建及设备费，同时少建约 240m 的区间隧道，多建一座区间风道。两站方案较一站方案多投资约 2 亿元。

最后考虑到天安门地区的特殊地理位置，经主审部门确定，仍采用两站方案。

2.2 王府井与东单站合并还是分设

王府井距东单仅 570m，是设一站还是设两站，前后经过多次反复比较才确定下来。

设一个站的主要想法是东单与王府井较近，现有公交车站也是合二为一。具体方案是，车站设在靠近东单路口，把车站西端延伸到王府井路口东过街道，延长部分大部分作商业之用，并设置地下过街道，使车站与王府井商业区连为一体。这样，既满足东单站换乘的要求，又照顾了王府井商业客流的需要。

王府井、东单分设车站方案的出发点，是将东单换乘客流与客流较大的王府井站分开，避免大客流集中到一个站上。尤其是王府井地区正在逐步大量开发，总建筑面积在百万平方米以上，客流比原先预计的还会增大。当然，分设两个车站，地铁投资将增加约 2 亿元，且从运营、节能方面来看，站间距过短不太合理。

这一问题的最后综合权衡，主审部门仍决定王府井与东单分设两站。

2.3 关于几个车站的位置

天安门西站：车站的纵向位置在人大大会堂西侧路以西，受地下建筑物的限制，车站不能向东布置。车站的横向位置与施工方法有关：若采用暗挖法时，可将车站布置在道路中心线下；若采用盖挖法时，车站位置需要南移约 10m。当时考虑到地下管线等因素，采用盖挖法施工有困难，因而车站布置在道路中心线位置。

天安门东站：车站纵向受过街通道制约，车站端部在天安门东侧过街通道以东约 7m。车站横向位置考虑两个因素：一是地铁中轴线上的车站与该站的换乘关系，二是考虑为车站明挖或盖挖创造施工条件。因此，在 80m 宽的道路范围内，将车站布置在道路中心线以南。

王府井站：车站纵向跨路口，以利于路口四周的客流进出地铁。车站横向位置由于受出入口宽度和风道布置的制约，宜设在略偏道路中心线以北。

东单车站：车站纵向布置在东单路口以东，东端、西端躲开规划的立交桥桥台，这也有利于王府井与东单之间的存车线布置，两站间距也可适当加长。车站横向位置不受建筑物制约，可布置在道路中心线下。

永安里站：车站纵向位置基本上与东大桥路口相对。考虑到施工场地以及风道长度的因素，车站横向设在略偏道路中心线以南比较合适。

国贸站：由于三环路下面设有大口径雨污水管，深度达 8m，地面以下较浅部位还有其他管线。若车站跨路口布置，则埋设太深。为减少施工困难，降低工程造价，将车站偏路口以西布置，道路北侧是已建成的国贸中心大厦，地下管线已按规划埋设，因此，将车站布置在路口西南是合适的。

大望路站：根据规划和客流情况，车站布置在西大望路口西侧，另外，考虑到大望路站以东的线路在

建国路北侧，故将车站设于道路中心线以北，也有利于车站主体结构的施工。

四惠站与四惠东站：两站分设在车辆段两端，与车辆段紧密衔接，特别是四惠站，无论是坡度条件还是平面条件都没有回旋余地。

3 岩土工程勘察

3.1 工程概况

北京地下铁道“复一八”线，是北京市重点工程，也是国家重要工程项目。因复兴门至西单早已建成通车，本次勘察由北京市地下铁道建设公司委托北京城建勘测院自天安门西站（D185+35）至四惠东站（D295+65）全长约11km、10个车站、11个区间的工程勘察任务。其中地下站有天安门西站、天安门东站、王府井站、东单站、建国门站改造、永安里站、大北窑站（国贸站）、热电厂站（大望路站）；地面站有八王坟站（四惠站）、八王坟东站（四惠东站），主要勘察时间为1989~1992年。

该线是贯穿北京东西长安街的重要干线。其特点是地层自稳能力差，有不同类型地下水，工程难度较大，施工方法以暗挖、盖挖为主，并有明挖，局部试用了半盾构法。勘察过程中共发出19套技术文件，20名技术人员参加该项工程。该段任务要求急、工作量大、且多在夜间施工，初勘资料与详勘文件时间相隔很短，初勘资料主要是用于确定设计、施工方案，详勘文件主要是供车站、区间进行设计、施工应用。在安排勘察工作量时，利用了20世纪50~60年代的钻孔和抽水试验资料，可节约钻孔1/2左右，并大大地缩短了勘察时间。

在勘察中，按照以暗挖、盖挖方案为主的技术要求，使用多种勘察手段，结合采用原有勘察资料。区间原则上每50m布置一孔，地层变化时适当增加，控制性钻孔一般40~50m，一般孔深30m左右。为防护设计和降水的需要，每站均有70m深的钻孔。车站地区一般布置4~6个横断面，间距30~40m，每断面原则上不少于3个钻孔。每站、段有一处群孔抽水试验，以求得施工降水所需的技术参数，外业钻探使用了DPP100型钻机、G₂50型钻机，全部采用干钻，个别深孔采用了泥浆护壁钻进。

在勘察资料中除详细阐述工程地质、水文地质条件，提出工程建议外，特别重视工程环境，对沿线工程地质、水文地质情况作了详细的勘察，并对沿线两侧高大建筑物地基基础设计施工概况作了调查了解，尽量利用城市原有的勘察资料。在勘察报告中明确提出了下列建议：

(1) 既要满足施工降水的需要，又要不浪费北京地下水资源，可就近利用直接回灌深层或先排入地表水系，再使其渗入地下；

(2) 在施工降水中，应随时掌握地下水位的动态，不可降得过深，一般应降至基底下0.5~1.0m，应选用造价低、简便易行的降水方法；

(3) 应确保沿线高大建筑物的安全，降水时应对重要建筑物进行沉降观测；

(4) 有条件的地段，可采用连续墙法，起挡土、挡水作用并配合注浆堵水；

要防止因修建地铁而破坏环境的平衡，从而使地铁建设和环境的改善得以同步发展；

3.2 沿线工程地质条件

该线位于东西长安街、建国门大街交通干道上。地貌形态为永定河冲洪积扇脊部，地形西高东低，起点至终点高差达9m之多。北京是一个古老的城市，作为都城已有700年历史，有各朝代修建的护城河。天安门西站附近的古河道系新近沉积的，深约10m，色暗。在王府井站附近也发现有古河道，由于人工活动的影响，改变了原有的面貌。

该线位于市中心，除人工填土较厚（最厚处达7m）外，沿线上部轻亚粘土、亚粘土和部分细砂，厚度在15m以上，多为全新世地层，少部分古河道为新近沉积层，经多方面调查考证大部分地层为晚更新世地层。

根据勘察揭露的地层，自上而下依次划分如下：

人工填土①层：该线位于市中心，人工填土较厚，本层顶部普遍覆盖0.3m左右的沥青路面，其下为杂填土①₁层和轻亚粘土素填土①₂层，稍湿，松散，含砖渣、灰渣、垃圾等。填土①层建国门以西分布较厚（约4m），最厚处多位于城区，达7m多深。四惠车辆段以耕植土为主。

轻亚粘土②层：褐黄色或黄褐色，硬塑至坚硬，局部可塑，稍湿至饱和，含云母、氧化铁、夹粉细砂、亚粘土薄层。该层全线连续分布，但厚度变化较大，承载力标准值一般为 180kPa。

亚粘土②₁层：黄褐色，可塑至硬塑，很湿至饱和，含氧化铁、姜石。该层分布不连续，厚度不均，多以透镜体分布于②层中，大望路站以东该层分布范围较大，透镜体较为明显，承载力标准值一般为 170kPa。

亚粘土②₂层：浅灰色至褐灰色，可塑，局部软塑，很湿至饱和，含有机质，有臭味。该层在国贸站以东以透镜体状零星分布②层中，厚度、范围均不大，承载力标准值相对较低。

粉细砂②₃层：褐黄色至黄色，稍湿至饱和，中密至密实，该层以透镜体分布于②层之中，层位不稳，厚度、范围不大，与亚粘土②₁、②₂和轻亚粘土层②层交替沉积。

细砂③层：建国门以西为中细砂，建国门以东为粉细砂。褐黄色至黄色，稍湿至饱和，密度中上至密实，夹粘性土透镜体，该层全线普遍分布，位于轻亚粘土②层之下，层厚变化较大，降水时如处理不当，易产生涌砂现象，承载力标准值一般为 200kPa。

圆砾④层：杂色，密实，饱和，多呈亚圆形，一般粒径 2~20mm，最大粒径大于 100mm，级配较好。圆砾成分以灰岩、辉绿岩、安山岩为主。该层全区连续分布，层面微斜。该层顶部普遍分布砾砂④₁层，厚度变化较大，承载力标准值为 400kPa。

亚粘土⑤层：黄褐色，局部浅灰色，可塑至硬塑，含氧化铁，恶化轻亚粘土、粘土薄层，为相对隔水层。承载力标准值为 190kPa。

轻亚粘土⑤₁层：褐黄色至黄褐色，可塑至硬塑，含云母、氧化铁。该层亦为相对隔水层。承载力标准值为 200kPa。

以上两层位于圆砾④层之下，全区普遍分布，由西向东逐渐变厚，亚粘土与轻亚粘土交替出现，局部地段沉积间断，或因下部地层起伏较大而局部缺失。

中细砂⑥层（局部砾砂或粗砂）：褐黄色至黄色、密实、饱和。该层建国门以东连续分布，厚度变化大，建国门以西呈不连续沉积，承载力标准值一般大于 250kPa

卵石、圆砾⑦层：杂色，密实，饱和，多为洪积形成，局部层厚变化较大，颗粒呈亚圆形或近似圆形，由西向东粒径逐渐减小，一般粒径为 20~40mm，最大粒径大于 120mm，中粗砂充填。卵石成分以灰岩、辉绿岩、石英岩为主。该层全线连续分布，是承压水的主要含水层。承载力标准值一般为 500kPa。

全新世、更新世地层的确定系根据中国考古所 C14 试验数据及地层学杂志、中国科学、地质科学等科技论文资料。主要根据如表 2-1：

表 2-1 取样资料

取样地点	取样状况	距现在年代
长安街、新北京饭店	地下 12~13m 古榆树（在砂砾层中）	29328 ± 1350 年
建国门地铁基槽	地下 12~13m 出土赤鹿和象门齿化石	属晚更新世主要动物群
雅宝路地铁基槽	地下 13m 古木	>32000 年
西直门、阜成门地铁基槽	地下 9~17m 披毛犀	属晚更新世主要动物群

注：距今 10000 年至 11000 年为全新世阶段。

经实测，测得各站 20m 以上地层的剪切波速度，表 2-4 给出其加权平均值。

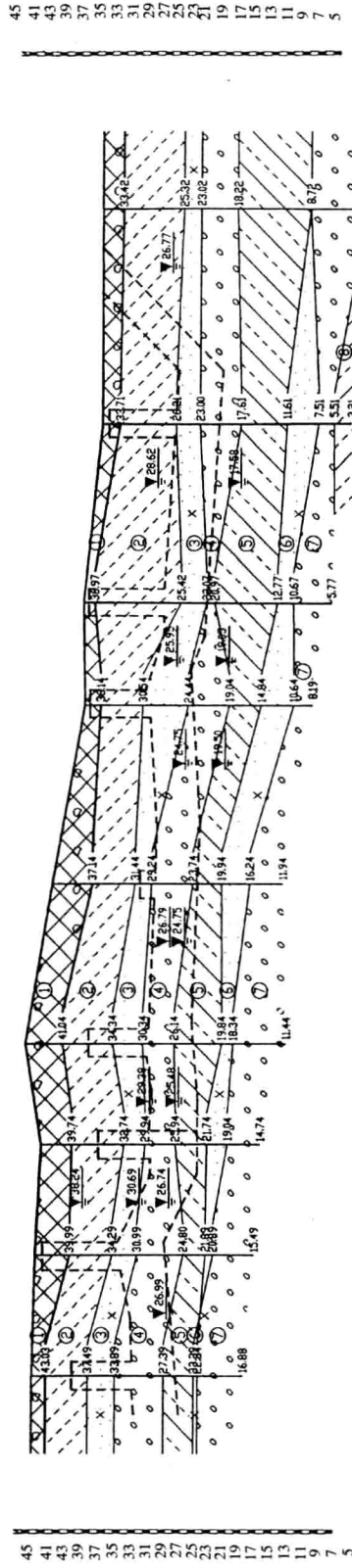
表 2-2 各站 20m 以上地层剪切波速 Vs 值 m/s 的加权平均值

站名	天安门 西 站	天安门 东 站	王府井	东 单	建国门	永安里	国贸	大望路	四惠 车辆段
Vs、m/s	283	270	254	274	283	296	276	265	226

北京地铁复八线天安门西站-四惠站工程地质剖面示意图

比例尺： 横：1:30000 纵：1:500

主段 (m)	天安门西站	天安门东站	王府井站	东单站	建国门站	永安里站	国贸站	大望路站	四惠站
	44.89	44.49	43.74	45.84	42.44	36.24	38.47	36.01	36.12



钻孔距离 (m) 925.00 852.00 774.00 1230.77 1375.23 790.00 1385.00 1661.00

根据抗震设计规范有关规定，埋深较大，对抗震有利。上述统计结果表明，场地土类型，大望路以西为中硬场地土，车辆段为中软场地土，场地类别为 II 类。

该线结构物基底一般均在砂砾层或粘性土中，地基土稳定，砂层无液化可能。车站中柱桩基础置于卵石、圆砾⑦层，一般为较好的持力层，但由于层厚变化较大，应引起重视。必要时可采取补强措施。地铁结构开挖范围内②、③层极易坍塌变形，圆砾④层亦需妥善处理。暗挖区段因上部为交通繁忙的长安街，地面震动较大，也是影响地层稳定的一个因素。

大望路站采用明挖法施工，地下水位较高，粉细砂层粘性土砂性大，易造成失稳。采用连续墙施工地段，要处理好不连续地段的边坡稳定问题。

经勘察在天安门西站 14#、3#孔，在 8.3m 以上发现灰色土壤，可塑至软塑、褐色、含贝壳、朽木、砖渣，在王府井站 13#孔填土以下 6.4m 为淤泥质轻亚粘土，可塑至软塑、褐色、含贝壳、树根，有臭味。21#孔也发现了淤泥质土壤。以上两处可能为古河道支流，在施工过程中，应采取强支护措施，以避免拱顶过量沉陷或坍塌。

“复一八”线地铁结构物基底最大埋深 23m，施工方法以浅埋暗挖法为主，地铁隧道多处于第四纪松散地层中，顶部覆土为 2.6~9.0m，地面车流、客流量大，震动力强，还要保证上部地下管线，控制过量沉陷。因此必须采用强支护。为了解地层的特性，提供设计、施工所需的各种技术参数，本次勘察室外测试主要采用轻便触探 N10、N63.5 标贯，圆锥动力触探和波速试验。室内试验除进行了常规土工试验（即物理指标+压缩剪力试验）外，还根据工程需要，进行了高压固结试验、三轴试验、侧压力系数（ K_0 ）试验，基床系数、比热、导热系数试验。

表 2-3 “复一八”线地层物理力学指标（之一）

地层编号	名称	天然含水量/%	密度 (g/cm ³)	天然孔隙比 e	液限 /%	塑性指数	液性指数	压缩模量 MPa	三轴		直剪		N _{63.5} (1) (2)	渗透系数 K/(cm/s)	承载力/kPa	备注
									Φ /°C	C/kPa	Φ /°C	C/kPa				
②	轻亚粘土	20.03	1.965	0.625	26.69	7.85	0.30	12.4	12	43.6	18.40	24.50	15	3.0×10 ⁻⁵	180	1. 本数据由各段平均值的中值法求得，供评价地层时参考应用。 2. 设计所需各项数据，应按各站、段勘察报告。 3. 圆砾 K 值由野外抽水试验求得。
② ₁	亚粘土	23.1	1.987	0.69	31.90	12.60	0.29	7.74	15	40	16.60	26.50	4-10	1×10 ⁻⁵	170	
③	粉细砂	10.4	1.80	0.636							30	0	34	1.26×10 ⁻⁴	200	
④	圆砾		(2.10)					(50)			(38)	0	45(2)		400	
⑤	亚粘土	29.70	1.92	0.83	37.6	14.1	0.42	8.3	9	50	15	30	13	1.85×10 ⁻⁵	190	
⑤ ₁	轻亚粘土	23.00	2.00	0.66	27.3	8.05	0.48	12.8	21	51	20	25	17	8.78×10 ⁻⁵	200	
⑥	中细砂		(1.96)										42		250	
⑦	圆砾卵石		(2.1)										51(2)		500	

表 2-3 “复一八”线地层物理力学指标 (之二)

地层编号	名称	土石工程等级	纵波速 V_p /(m/s)	横波速 V_s /(m/s)	动剪切模量 G_d / PMa	动弹性模量 G_d /P Ma	动波桑比 μ_d	比热/ (kJ/ kgK)	导热系数 /(W/ m.k)	热扩散率 a / (m^2 / h)	衬砌表面摩擦系数	酸碱度	基床系数		备注
													垂直/ (kN/ m^3)	水平/ (kN/ m^3)	
②	轻亚粘土	II	467	188	84	231	0.385	0.33	1.04	0.00181	0.25	7.41	31000	31400	1. 本数据由各段平均值的中值法求得, 仅供评价地层时参考应用。
② ₁	亚粘土	I	458	165	80	208	0.40				0.25	7.4	10425	22500	
③	粉细砂	I	629	317	169	457	0.35	0.21	1.30	0.0020	0.30	7.65	36000	30500	
④	圆砾	III	758	380	344	824	0.31	0.31	1.16	0.00225	0.30	7.6	91250		2. 设计所需各项数据, 应按各站、段勘察报告。
⑤	亚粘土	II	628	302	203	544	0.34	0.34	1.18	0.00174	0.25	7.6	50918	48844	
⑤ ₁	轻亚粘土	II	671	317	183	552	0.36	0.34	1.22	0.001>		7.4	53754	48614	
⑥	中细砂		795	393	359	766	0.31						(30000)		
⑦	圆砾卵石		863	459	460	1106	0.33								

现将特殊试验简述如下:

3.2.1 静侧压力系数 (K_0)

在静三轴仪上安装的侧压力仪上进行, 土样直径 6.5cm, 高度 6.5cm, 在土体无侧向变形条件下, 侧向有效应力与垂直向有效应力之比, 即为 K_0 值。

3.2.2 三轴剪切试验

在 SJ-1A 型三轴剪力仪上进行, 土样高 8cm, 截面积 10cm², 采用固结不排水剪切法进行试验。

3.2.3 基床系数

用室内三轴仪测定, 试样直径 3.57cm, 高度 8.0cm。其方法是在原状土样经饱和处理后, 在 K_0 状态下达到固结。通过不同的应力路径下的三轴压缩试验 (慢剪) 得到垂直基床系数和水平基床系数。

扰动土样的基床系数, 根据现场标贯值确定孔隙比, 干密度, 土样击实成型。试样直径 3.91cm, 高度 8.0cm, 经饱和处理后, 采用原状土样同样的方法确定基床系数。在试验时已考虑到深度的关系, 因此在设计使用时可只按地铁结构物宽度进行修正。

3.2.4 热物理指标测试

地铁车站、区间通风设计所需基底以上各层的导热系数、比热、导温系数, 是基于非稳态导热原理进行测试。即将 20cm×20cm×20cm 试件通电后, 温度逐渐发生变化, 据其变化速率, 解导热微分方程求得导热系数、比热, 再用计算方法得出导温系数。

3.2.5 波速测试:

使用了 DISO-1580 型信号增强仪或 GJY-1 工程检测仪, 在套管中用单孔法测试, 求得剪切波速 (横波) V_s 值, 再根据密度 $G_d = V_s^2$ 换算各层动剪切模量。其压缩波 (纵波) 大部分是根据剪切波速度对比经验值得出, 在热电厂等站用 GJY-1 型工程检测仪进行了纵波测试, 用 $E_d = 2G_d (1 + \mu_d)$ 求得动弹性模量。

在国贸站利用了附近的动三轴试验资料，求得了动剪切模量和阻尼比。由室内外试验取得的技术参数，其精确程度直接关系到勘察设计的质量，因此它是岩土工程勘察的重点工作和关键问题之一。

3.3 水文地质勘察

北京地下水的补给来源主要是降雨下渗，每年降雨量多少直接关系着地下水位的高低。丰水年降雨量约为 1000mm，水位往往上升，其次是河流及水库渗入，还有西郊山区基岩水侧向径流。地表水与地下水是互相联系、相互转化的。

地下水位下降的主要原因是：由于工农业的发展和人口的增多，用水量超过补给量，70 年代以后地下水逐年下降，天安门地区 1957 年地下水距地表 4m 左右，现距地表 16m 左右。近年来，政府加强了对地下水资源的管理，地下水位又有所回升。城区地下水位年变化幅度 1~3m，地下水流向是由西向东。

该线地下水有三种类型，即上层滞水、潜水和承压水。

(1) 上层滞水：分布在填土以下的轻亚粘土和粉细砂之中，其补给来源为大气降水、生活污水、管道漏水等。亚粘土为良好的隔水层。各站段水量大小不等，王府井地区上层滞水局部埋深为 4.37m，这类水对地铁的影响不可忽视。

(2) 潜水：存在于粉细砂③层、圆砾④层及砾砂中，是对地铁修建影响最大的地下水类型。各站段基底均处在潜水之下，渗透系数较大，在国贸站一带因覆土层较厚，含水层顶板相对较低，致使地下水有弱承压性。对潜水降、堵、排的好坏直接关系着工程的成败。

(3) 承压水：是由卵砾石层⑦层为主组成的第一承压含水层，粒径较大，渗透能力较强，因上部隔水层有些地方沉积间断，以及钻探施工时将隔水层钻穿，造成承压水与潜水有一定的水力联系。全线很多站、段进行施工降水时都应降低承压水头。

水文地质勘察是地铁勘察重点之一，在工程地质勘察中，就安排了各种类型地下水水位的观测工作，分清上层滞水、潜水、承压水的不同地下水位及含水层厚度。专门水文地质勘察工作有群孔抽水试验和地下水位长期观测工作。通过这些工作，基本上搞清了水文地质条件，提出了分段降水设计所需的技术参数及对施工降水方案的建议。

群孔抽水试验主孔一般使用冲击钻机，采用大口径水压钻探，终孔口径 550mm，下入直径 325mm 的缠丝滤水管，在含水层的相应位置用滤网或棕皮包扎。用深井泵或潜水泵抽水，用三角堰观测流量，用半导体电测水位计观测水位。根据工程地质、水文地质条件布设群孔抽水试验，每排 3~4 个观测孔。利用观测孔之间的水位差值，计算渗透系数 K 值、影响半径 R 值及有关水文地质参数。

为及时准确地观测沿线地下水位动态变化情况，供设计、施工参考应用，在各站、区间均布设一组观测各种地下水水位变化的长期观测孔，上层滞水观测孔深一般不超过 10m，潜水观测孔深约 20m，承压水观测孔深 30m 左右，多呈三角形布置，相距不远。观测孔采用外径 76mm 地质无缝钢管，管长 1~4m 不等，过滤器部分外缠 40~60 目尼龙纱网 2~3 层。沉砂管一般 3m 左右。对于承压水观测孔填砾石后，上部隔水层部位用 3~10mm 粘土球止水。一般情况下，每 10 天观测一次，雨季及施工降水期间适当增加水位观测次数。经长期观测“复一八”线各站地下水位如表 2-3 所列。

表 2-5 天安门西站至大望路站的地下水位

地点	1959 年最高水位 标高 (m)	1971~1973 年最 高水位标高 (m)	上层滞水 (m)	潜水 (m)	承压水 (m)
天安门西站	42.00	37.10		26.91	26.69
天安门东站	42.10	36.00		28.59	26.54
王府井站	42.50	35.00	35.16	30.06	26.14
东单站	42.50	34.30		29.30	25.40
建国门站	40.10	32.00	38.44	26.41	24.79

续表

地点	1959年最高水位标高 (m)	1971~1973年最高水位标高 (m)	上层滞水 (m)	潜水 (m)	承压水 (m)
永安里站	38.60	30.70		24.75	19.50
国贸站	37.20	29.50	30.06	26.22	19.80
大望路站	36.30	28.60	29.31	29.18	17.58

全线对地铁影响最大的地下水是潜水，主要含水层是圆砾④层，城内段由于地铁环线的修建，使得城内地段潜水过水断面减小，对潜水地下水可能有一定的影响。

按沿线群孔抽水试验资料，求得潜水含水层、中细砂③层和圆砾④层渗透系数 K 值范围如下：

表 2-6 “复一八”线沿线地层的渗透系数

区段	渗透系数 K 值 (m/d)
天安门西站—建国门	120~100
建国门—国贸 (B249+50)	100~80
国贸 (B249+50)—大望路 (B257+30)	80~60
大望路 (B257+30)—四惠	60~40

因区段之间的含水层厚度、粒径、充填物均有些变化，故提供渗透系数范围值，在施工过程中予以验证。卵石或圆砾⑦层为主的承压水层粒径较大，渗透力较强，故其渗透系数为 150~180m/d。此外，上层滞水对地铁施工的影响亦不可忽视。

人工降低地下水位的措施，应根据地铁各站、段不同的施工方法，以及水文地质条件，选择最佳降水方案，为工程按期或提前完成创造条件。

建国门以内降水特点是：局部有上层滞水，施工前应予以疏干。采用暗挖法，结构基底接近承压水头，这时既要降低潜水水位，又要降低承压水头，降水工作量较大。

建国门以外降水特点是：地铁埋深稍浅，但地下水位较高，越往东，渗透系数相对较小，但降水难度较大。

“复一八”线的建设单位、勘察、设计及施工单位都应本着既要满足施工降水的需要，又要注意到对水资源的保护，从资源可持续利用的原则出发，在有条件回灌的站段，将抽出的地下水回灌到地下深部含水层，将水储存起来。

3.4 施工过程中的工程地质问题及其处理措施

施工中的工程地质问题有：暗挖施工中地层变化与地层加固问题；盖挖法钻孔灌注桩、边桩、中柱桩、连续墙的选择问题；明挖法基槽检验、边坡稳定等问题。有条件时可根据开挖后的地层，绘制实际工程地质图与勘察工程地质图进行对比分析。还有对工程环境问题的预测、分析、处理。这些都是地铁岩土工程勘察技术人员在施工过程中应参与解决的事项。在“复一八”线勘察中设计人员参与了验槽、验洞、验桩和必要的质检工作，对勘察水平的提高是有益的。

3.4.1 要重视工程环境问题

工程环境是在工程建设中，使自然环境发生变化而产生的新环境。工程环境学主要是预测和研究工程建设中所产生的各种环境问题及其解决办法，以消除其不利因素，使工程建设造福于人民。在地铁施工中的工程环境问题主要有：由于处理不当，可能引起地面过量沉降；地下水资源减少，水质变坏；边坡失稳而影响周围环境；拉土车满街洒土影响市容卫生，明挖施工因回填不实，造成地面下沉、管道弯曲或两侧高大建筑沉降等等。