

地铁工程施工事故与风险管理

莫若楫 黄南辉

(国际亚新工程顾问公司 香港)

摘要 参考国际隧道协会所建议的分级系统,将2001—2006年间在亚太地区地铁工程施工期间所发生的43个事故,依其后果的严重性分级,以作为发展地下工程风险管理的基础。纳入考量的项目包括人员伤亡、经济损失及对民众生活的影响、工期的延误,以及对交通的影响。并以新加坡政府在尼诺大道灾变后所采取的一连串措施为例,列出地下工程风险管理的要素,勾画出地铁风险管理制度基本架构。

关键词 地铁工程 岩土工程 风险管理 事故

由于人口急骤增加与经济快速发展,世界各大都会区都在积极推动地铁建设,以解决交通拥堵问题。在亚太地区,日本早在1927年即开始东京银座线的运营,是第一个拥有地铁系统的国家。接着,20世纪60年代中国的北京,70年代朝鲜的平壤、韩国的首尔以及中国的香港,80年代新加坡,90年代中国台湾的台北,都有地铁路线开始运营。最近开始地铁运营的国家是泰国,曼谷地铁系统的第一条路线在2004年开始运营。目前,这些运营中的地铁系统仍不断地扩张其线网,而这些国家的一些其他城市也有了地铁系统。在未来的数年间,将会有许多都会区开始兴建地铁系统。以中国为例,目前已有地铁系统的有6个都会区,还有10个以上都会区的地铁系统,已经国务院批准兴建。由于亚太地区大多数的都会区都位于沉积平原,土质松软,地下水位高,地质状况对地下工程极为不利,施工事故屡见不鲜。

1 事故分类与分级

为方便统计分析,事故依其发生原因分类,并依其后果之严重性分级。

1.1 事故原因分类

如表1所示,一般常见的施工事故原因可依工法分为6大类,再依事故原因细分为22小类。每一小类都有1个代码以方便统计分析。

1.2 事故后果分级

国际隧道协会(ITA)在2004年出版的《隧道风险管理准则》(Guidelines for Tunnelling Risk Management)一书中对施工风险分类分级考虑的项目包括:工作人员或救灾人员伤亡、第三方人员伤亡、第三方经济损失、业主经济损失、工期的延误、环境影响及无形损失。

因为无任何相关资料,所以最后两项在此不予介绍。除了这些项目之外,因为交通万一瘫痪,社会成本甚巨,笔者建议将交通影响纳入考虑。应注意的是,隧道协会的准则只适用于经费超过10亿欧元,工期在5~7

年的大型工程。虽然一般而言,1条地铁路线的工程费可以达到这个金额,但单一施工标不见得能满足这两个条件。即使如此,笔者认为不必拘泥于这个限制,仍可以单一施工标为分析对象。

1.2.1 人员伤亡

ITA对工作人员及救灾人员伤亡与第三方的人员伤亡有不同的标准。如表2所示,同样的伤亡,两者相差一级。例如,只要有1位路人死亡即可认为是灾难性事故,但工作人员要有10人以上死亡才被认为是灾难性事故。因为工作人员是工程的参与者,有商业利益,而不相干的第三方则纯属无辜。

表1 事故原因分类

工法	代码	破坏模式
无支撑 明挖	OC-1	滑坡
	OC-2	地基破坏
	OC-3	地下水问题
	CC-1	挡土结构破坏
	CC-2	地锚破坏
	CC-3	挡土壁漏水
有支撑 明挖	CC-4	地基破坏
	CC-5	地下水问题
	CC-6	地表沉降
	MG-1	地表沉降及地陷
	MG-2	开挖面破坏
	MG-3	支撑破坏
暗挖	MG-4	结构破坏
	MG-5	挡土壁渗漏
	MG-6	联络通道破坏
	ST-1	洞口破坏
	ST-2	障碍物
	ST-3	地表沉降及地陷
盾构 隧道	ST-4	管片破坏
	GT-1	地表隆起或沉降
地层 加固	GT-2	邻近结构物受损
	生命管线	UT-1 生命线管破坏
其他	OT	

表2 人员伤亡分级标准(ITA,2004)

分级	工作人员或 救灾人员伤亡	第三方人员伤亡
灾难性	死亡>10	死亡>1,重伤>10
极严重	1<死亡≤10,重伤>10	1死亡,1<重伤≤10
严重	1死亡,1<重伤≤10	1重伤,1<轻伤≤10
重大	1重伤,1<轻伤≤10	1轻伤
轻微	1轻伤	

1.2.2 经济损失及对民生的影响

基于同一理由,表3 经济损失分级标准(ITA,2004)

ITA对业主的经济损失与第三方的经济损失也有不同的标准。如表3所示,同样的损失,两者也是相差一级。第三方经济损失包括邻近结构物、管线、其他设施的直接损害,以及延伸损害(如对民生的影响)。因为详细资料难以取得,即使只想粗估所有的损失也是不可能的,何况同一栋建筑物在不同国家其价值不同,即使是同一国家,在不同城市、不同地区其价值亦不相同。所以笔者建议,与其以金额分级,不如直接以结构物或设施为分级的标准。如表4所示,对建筑物只考虑楼层,而不考虑其面积、年龄、重要性等。甚至只要考虑楼层总数,如2栋3层楼房可以当成1栋6层楼房来考虑,更为方便。

表4 经济损失分级标准

标的	分级	说明
建筑物	灾难性	1栋10层以上的楼房被破坏; 2栋以上5~10层的楼房被破坏
	极严重	1栋5~10层以上的楼房被破坏; 2栋以上2~5层的楼房被破坏; 数栋5层以上的楼房严重受损
	严重	1栋2~5层以上的楼房被破坏; 2栋以上平房被破坏; 1栋豪华建物被破坏; 数栋2~5层的楼房严重受损
	重大	1栋平房被破坏; 数栋平房严重受损
	轻微	平房、店铺、临时结构、工寮受损
	灾难性	非常重要的生命线管或设施被破坏
	极严重	非常重要的生命线管或设施严重受损; 重要生命线管或设施被破坏
	严重	非常重要的生命线管或设施轻微受损; 重要的生命线管或设施严重受损
	重大	重要的生命线管或设施轻微受损; 次要的生命线管或设施严重受损
	轻微	次要的生命线管或设施轻微受损
公共设施		

注:设施按重要性分为5级,按受损程度分为6级

至于公共设施,其经济损失不应只是直接修复或重建的费用,应包括因这些设施受损(如断水、断电)所造成的社会成本(如商店停业或工厂停工的产销损失),所以是以其对民生的影响(见表5)及受损程度(见表6)作为分级的考虑。在外国,很多与民生相关的设施(如电厂、水厂)属于私人企业所有,所以无论是公有或私有,其标准相同。

至于业主的经济损失,在事故发生后,除非是当事人,通常很难分清业主、承包商以及保险公司所负担的金额。在这情况下,只能考虑整体经济损失,而无法计较如何分担。整体经济损失理应将第三方经济损失合并计算。

1.2.3 工期延误

工期延误是指该施工标因事故而延长的时程,并不考虑该标对其他标完工或全线通车日期的影响。如表7所示,ITA(2004)对工期延误的建议有二:方案1或方案2。前者保持与其他项目分级逻辑的一致性,如表3及表5所示,各级间的数值相差10倍,方案1沿袭此一逻辑,但应用起来却甚为不便。方案2易于使用也更近乎情理,所以笔者建议采用方案2。

1.2.4 交通影响

交通顺畅与否攸关民生至巨,所以建议单独列项考虑,其分级如表8所示,其中干道是指4线以上的快速道路(expressway)。若只是部分车道封闭,其分级可降一级。次要道路(如市区街道)其分级亦可降一级。

表5 公共设施重要性分级标准

分级	定义
非常重要	10 000人以上受影响
重要	1 000~10 000人受影响
次要	1 000人以下受影响

表6 公共设施损害分级标准

分级	定义
破坏	需要1个月以上才能修复
严重受损	需要1星期以上才能修复
轻微受损	不需1星期即可修复

表7 工期延误分级标准(ITA,2004)

分级	方案1/月	方案2/月
灾难性	>10	>24
极严重	1~10	6~24
严重	0.1~1	2~6
重大	0.01~0.1	0.5~2
轻微	<0.01	<0.5

表8 交通影响分级标准

分级	干道全线封闭	高速公路*或 地铁封闭1线
灾难性	>3个月	>1个月
极严重	1~3个月	1星期~1个月
严重	1星期~1个月	1d~1星期
重大	1d~1星期	<1d
轻微	<1d	

*如只是部分车道封闭,降一级,次级道路亦降一级

1.3 事故分级及统计

在 2001—2006 年间所发生的 43 件地铁工程事故中,5 件为灾难性事故(简称为灾变),3 件为极严重事故,8 件为严重事故,7 件为重大事件,其他 20 件为轻微事故。这些事故是以其在人员伤亡、第三方经济损失、整体经济损失、工期延误及交通影响等 5 项中的最高分级为该事故的分级,并不考虑其叠加效用。另一种做法是将各分级以权重代替,然后将权重加总,再行分级。但如何分配权重却是见仁见智、难以定论,因此目前不予考

表 9 2001—2006 年亚太地区地铁施工事故统计

代码	灾难性	极严重	严重	重大	轻微
OC-1		1	1		1
CC-1	1	1	3		1
CC-3	1			1	1
CC-5					3
CC-6					3
ST-1	1	1		1	
ST-2				1	
ST-3			2	1	4
MG-1				1	
MG-3					
MG-6	2				1
GT-1					1
UT-1			1	2	4
OT			1		1
共计	5	3	8	7	20

2 经验与教训

前事不忘,后事之师,已发生事故的宝贵经验可以作为日后地下工程设计及施工的参考。

2.1 水是灾变元凶

在地下工程中,地下水是一大威胁,不容轻视。在 5 个灾难性事故中有 4 个是因地下水涌入开挖区所致。如开挖区位于透水性高的土层中,而附近又有丰富的水源,必须谨慎为之,尤其是在深处结构体上开口时更应小心。

在 20 世纪 90 年代,台北捷运(地铁)第一期工程施工时所发生的 4 个灾难性事故及数个极严重的事故皆因景美砾石层中的地下水涌入开挖区所致,幸好并无伤亡。由于水压大、水量充沛,一旦涌水甚难止住。这 4 个事故中,有 2 个发生在盾构机进出隧道的洞口。所以,其后在高危险地区,都要求在洞口特别加做防护措施,以防万一。在到达井的洞口外,可以加装钢隔舱,万一发生涌水,可以迅速封闭隔舱,注入压缩空气

以止水。在出发井的外侧,可以地下连续墙或钢板桩做成围堰,在盾构机进入围堰后,再确实将洞口密封。冰冻工法也是一个不错的选择,在数次的应用中,成效显著,随着价格的降低,有朝一日可能会取代注浆,成为一个主要的地层加固措施。

泰国曼谷地区的地下水水压因超采而下降 20 m,所以虽然该地区的地层与台北盆地的地层性质相近,但在地铁施工期间鲜少事故发生,这是地下水是事故的元凶的反证。在 20 世纪 60—70 年代,台北盆地景美层的水压曾下降了 40 m,但 80 年代因为立法禁止抽水,水压不断回升,目前已接近地表。要是水压没有回升的话,许多过去发生的灾变是不会发生的。

在两隧道之间施作联络通道也是一个高风险项目,尤其是在河底施工,其危险不言而喻。在如此情形下,一般都会用冰冻工法固化周围地层后才行挖掘。台北捷运中正机场线在穿过淡水河的下方有一条联络通道,全段采用双圆盾构机(DOT)挖掘,这样就不再需要联络通道。据笔者所知,双圆盾构机的使用,在日本有 13 个成功的例子,在上海也有 6 个例子。使用双圆盾构机还有一个很大的好处,就是隧道的总宽度可缩减,这样可以减少对邻近结构物的影响。由于未来会有越来越多的地铁路线位于路幅较窄的道路之下,所以双圆盾构机的使用会越来越普遍。

地下连续墙的渗漏也极具威胁性。有些滨海地区或新生地,由于压密尚未完成,地层自然含水量接近液限,施作地下连续墙时,槽沟极易坍塌,影响地下连续墙的质量。譬如说,因为槽沟坍塌以致地下连续墙中包泥,在开挖过程中发生渗漏,造成损邻的事件,在高雄地区已是司空见惯。所以,在高雄滨海地区施作地下连续墙之前,都会采用地层加固或微型桩来维持槽沟的稳定,但问题并未能因此彻底解决,事故仍是层出不穷。目前的研究指出:高雄地区的粉土的确有非常怪异的特性,不能以一般地层视之。

除了地下水之外,自来水管线的破裂也会引起地层受冲刷而产生地陷,甚至导致围护结构的破坏。因为管线的保护并非难事,如此事故之发生,承包商难辞其咎。只要能对管线以及周遭地盘的位移严加监测,并将其控制在容许值之内,一旦超出即纠正之或将该水管迁移,此类事故即可以避免。

2.2 地层加固的规范必须修订

开挖区四周一般都会进行地层加固,以增加地层的强度,并减少地层的透水性。据笔者所知,在亚太地

区,地层加固的设计大都是沿袭日本的规范或依据日本的经验。由于地层加固的成效受机具及施工者的资质影响甚大,日本的规范及日本人的经验在本区是否适用不可不疑。本区域自行生产的注浆机具是否与日本机具具有同样的切削能力,本区域的施工人员是否与日本的施工人员有相同的素质及经验,都值得检讨。本区域地层加固的单价亦远较日本的单价为低。在这种情形下,要求同样的质量并不切实际,所以有必要根据各地的实际经验,发展适合当地地质状况及工艺水准(workmanship)的规范。更重要的是,现有的规范大都着眼于加固体强度的要求,并未特别针对地下水的威胁制定对策。因为过去开挖深度不大,问题并不严重,但这问题将会随开挖的加深而日益严重。以盾构隧道为例,一般洞门加固均为隧道上方地层加固的厚度较隧道下方为大,这显然是考虑到上方的载重较大之故。以盾构隧道而言,地层向内位移并不是一个严重的问题,所以加固体的强度要求并非绝对重要,上方加固体较厚并无必然的道理。反之,因为下方的水压较大,下方加固体应较厚(以增加水流路径、减少水力坡降)才是。

一般而言,地层在加固后虽然强度会增加,但脆度也会增加(塑性减少),所以在开挖过程中,加固体中会因应力改变而产生裂隙,形成水路。开挖前的试水并不能保证加固体的止水效果。矩形或框形加固体在应力改变时,在四壁的中间部位很容易因张应力而产生裂隙。加固体若呈圆形或环状,因为环效应(ring effects)会将裂隙闭合,止水效果会较佳。

如果加固体必须保持6个月及以后的有效期,就要注意地下水的化学成分对水泥的影响。如有必要,应采用抗劣化水泥。

由于开挖不断加深,规范的修订旷时费日,缓不济急,所以在新的规范公布之前,建议适度增加加固体的厚度,以减少渗漏或破坏。

2.3 地层加固的质量是关键

地层加固作业通常由专业厂商负责。由于利润的考虑,这些厂商难免会省工省料。一般岩土工程师对地层加固的作业细节并不清楚,所以即使是有经验的岩土工程师也无法防止其弊端。此外,注浆管难免会偏离其预定位置,所以实际成形的加固体并不会如设计图所示环环相扣,加固体之间很可能有浆液不及之处。如果因为地下有障碍物而必须以斜管注浆的话,这问题更为严重。即使注浆管的倾角都经确认,加固

体的完整性都难以确认。在这情形下,必须持保守的态度,增加加固体的重叠。加固体的侧边也至少要有两排以上完整的加固桩,才能减少桩与桩之间的连续性间隙。

地层加固的成效通常是以钻孔取样并做强度试验确认,但一般规范都强调试体的强度而忽视加固体的完整性或连续性。至于强度试验,通常都会选最为完整的试验体进行试验,但事实上是最差的部分才是影响工程成败的关键,所以强度试验结果并无太大意义。虽然很多工程师对岩心回收率(core recovery ratio)及RQD(rock quality designation)是否适用于加固体有所怀疑,但笔者认为在有更好的办法之前,这两者仍不失为确认加固体质量最好的指数。

2.4 不应迷信电脑分析

由于经验的日积月累,挡土系统破坏已不常见,挡土系统的设计也从以“能力”为考虑(capacity-based)演化为以“性能”为考虑(performance-based)。台北捷运的设计即以“性能”为考虑,所以地下连续墙的侧向位移是过去以传统作法所得的1/3。这有赖电脑之助,如果没有电脑,“性能设计”实在是无法进行。

自从20世纪80年代微型计算机日渐普及之后,计算机已成为设计的主要工具。有了计算机之助,复杂的土体行为以及复杂的结构几何都可以模拟。在2004年4月间发生在新加坡环线尼诨大道事故,就是因为盲目迷信计算机分析的结果。在开挖到10 m后,即有一连串危险征兆,但承包商一再以错误的地层模式及参数进行反分析,并用以预测未来的变化。虽然受到严重质疑,承包商仍一意孤行,不知危险将至。而由于不能证明计算机分析的错误,审查单位无法当机立断,勒令停工,终于造成4人丧命的悲剧。

由于过分依赖计算机,工程师不了解分析过程,知其然而不知其所以然,日渐失去对分析结果的判断力。而在有争议时,审查单位却又无法反驳计算机的谬误,这是一个相当严重的问题。计算机的应用是大势所趋,计算机必然成为可靠的分析、设计工具,但在能充分掌握计算机分析结果的正确性之前,工程师仍应对计算机分析结果持保留态度。工程师也应重视现场观察,以培养对计算机分析结果的判断力。

2.5 风险善加管理,灾变原可避免

以现在的设计及施工水准,不良地质条件不应成为发生灾变的借口。如果风险管理得当,大部分的灾变应可避免。在尼诨大道的灾变发生后,新加坡政府

成立了调查委员会,调查灾变的前因后果。在征询过 20 位专家学者的意见以及聆听了 173 位证人的证言后,委员会得出结论:如果风险管理得当,灾变是可以避免的。

3 风险管理

风险管理的意识在各行各业已经广被接受及重视,但目前在工程界,尚无具体章法可循。鉴于灾变之频繁、损失之大,风险管理制度的建立刻不容缓。

尼诺大道灾变调查委员会的调查深度及广度前所未见,调查委员会对以下项目都有明确的建议(COI, 2005),这些项目都是风险管理的要项:风险管理的落实、不确定因素的掌握、监测作业及监测资料的管理、足够的安全系数、设计的独立检核、数值分析模式、喷射注浆、规范、停工、紧急应变措施、承包商及专业厂商的资质、招标方式及评标、安全意识、指挥体系、监理独立、建筑物管理。

新加坡国家发展部和人力资源部组成了一个工作小组,讨论调查委员会的建议,并做出具体的回应。新加坡政府回应调查委员会的作法十分有效,可以作为建立风险管理制度的基础。

3.1 职业安全及卫生法令修订

1) 在每一个工地,承包商必须有完善的安全及卫生管理计划,包括结构安全评估、风险管理计划、紧急应变计划等。这些计划必须具体可行,而且要有实践这些计划的具体作法。

2) 每个工程的业主必须要求设计者评估可能面临的风险并提出对策。

3) 承包商的安全卫生管理计划必须设定各项风险的管理值,并且要有传递危险信息给相关单位的机制。

3.2 国家发展部和人力资源部联合工作小组

1) 所有承包商必须要有安全卫生的证书,才能在建物管理局 (building control authority) 登记、承包工程 (OHSAS18001 标准);

2) 如是注册工程师 (registered engineer) 或注册建筑师 (registered architect) 疏忽职守,将会受到严厉的处分,最高处罚可以吊销其执照 2 年 (原为 1 年);

3) 将岩土工程师纳入技师注册制度,为岩土技师 (professional geotechnical engineer),重要的岩土工程,如地质调查及监测作业等,都需要岩土技师签章;

4) 在深开挖工地,挡土工程 (temporary earth

retaining structure) 的监测作业必须由岩土技师负责,包括资料的研判以及管理值之订定;

5) 检核岩土工程师 (accredited checker-geotechnical) 必须巡视工地,以了解工程进度,并且审查监测资料;

6) 当监测值超过预设的管理值时,岩土技师及承包商的技术总监有义务要求停工;

7) 假设工程的进行必须经过技师签章,必要时通知负责永久结构的技师;

8) 设计须经检核岩土工程师检核并签章;

9) 检核岩土工程师必须有足够的资质及与岩土工程相关的经验;

10) 检核岩土工程师以及永久结构的检核工程师必须由业主直接任用,直接向业主报告。

3.3 陆路交通管理局 (LTA)

1) 陆路交通管理局将每个工地的风险都列入管理,每一个风险项目都有风险指标及紧急应变计划;

2) 每个工地每星期都必须开会审查,并讨论监测资料;

3) 如发现设计上有瑕疵,或监测值超过管理值时,应立即报告上级;

4) 监测作业将由陆路交通管理局直接发包,专业分包商直接向陆路交通管理局负责;

5) 监理作业亦由陆路交通管理局委外办理,负责检核假设工程的设计;

6) 承包商负责临时工程的技师不得为承包商的职员,也不得在工程中有经济利益。

为策万全,陆路交通管理局于 2004 年底在环线设置岩土工程专业顾问,负责全线岩土工程方面事务。2006 年新加坡政府正式开始了岩土技师的注册,所有地下工程都必须有岩土技师的签章,所有的设计也必须经独立检核工程师的检核。

4 风险因素

影响工程风险的因素甚多,有的属技术层面,有的属非技术层面。以下列举的是制度层面的风险因素。

4.1 低价抢标

工程质量不佳的主要因素包括经费不足、工期太紧,以及从业的工程人员敬业精神不足等。俗语说:一分钱一分货,在价格为决标条件的制度下,很难要求高水准的成果。由于竞争激烈,承包商必须以低价才能得标,而得标之后又必须东省西省才能存活。新加坡

尼诹大道灾变调查委员会建议,在审标时将承包商的资质列入评分,承包商的安全纪录、风险管理以及紧急应变能力都应纳入考虑。新加坡国家发展局、人力资源部以及陆路交通管理局现在都实施预审制度,淘汰安全纪录不佳的厂商,但这并未彻底解决问题,因为在审标的第二阶段,价格仍是决定因素。优良厂商要在价格上得到优惠才有实质好处。FIDIC(价格优先)的精神对选择设计者尤为重要,因为设计费通常只占工程费的几个百分点,而因设计不当所造成的损失将会数倍于此。若为节省设计费而选了不胜任的设计者,将会得不偿失。

招标方式也会影响工程风险的大小。目前设计、施工总承包日渐普遍,与传统的发包方式相比,虽有工期短、费用低的好处,但质量难免被牺牲。总包工程的规范必须更加严谨,才能弥补这一缺失,但严谨的规范并不是质量的保证。从另一个角度来看,传统的发包方式也有其缺点,虽然设计会较保守较安全,但设计者与施工者互不相识,施工者不见得能接受设计者的理念,设计者所规划的安全机制,可能无法实践。在地铁工程中有来自不同国度的众多设计者以及承包商,每个设计者及承包商都有不同的理念以及不同的做法。理念的不能贯彻常是灾变的原因,如果设计者在施工过程中不能参加监理的话,这情形会更为严重。尼诹大道灾变调查委员会报告中就指出,业主、设计者、承包商以及分包商间缺乏沟通、步调不一是尼诹大道灾变的主要因素之一。

4.2 管理系统紊乱、权责不明

在工程进行的过程中,每个人都应了解其职责以及因疏忽职守所面对的法律責任。在尼诹大道灾变后,调查委员会将管理不善的责任归咎于业主及承包商的工地负责人。新加坡政府也将陆路交通管理局该标的工程主管以及承包商的3位主管起诉。2006年4月法院判决前者被罚8000元新币(4万元人民币),后者每人被罚10万元新币(50万元人民币)。自此之后,工程师们都加倍小心,怕万一不慎,吃上官司,但也因此产生推诿卸责、因循怕事以致工程难以推动的后遗症。可见,权责必须分明,每个人都负该负的责任,而且每一阶层的人员必须有合格的资质,才能胜任。

4.3 信息不能流通

尼诹大道灾变调查委员会也将信息不能流通认定为灾变发生的主因之一。信息流通在项目管理中至关重要,有关安全的信息尤须立即通报,监测资料更要善

加管理,妥善运用。以现代的计算机技术,可以很容易地将监测资料和其他相关信息与地理信息系统结合,通过网际网路,通知各单位;更可通过网际网路发布预警,使各单位能及时应对。

5 保护他人与被他人保护

地铁工程对邻近结构物的保护已成天经地义之事,而且章法已备。首先,设计者必须对可能受到影响的结构物进行风险评估,并提出应对之策。在施工过程中,所有邻近结构物的位移都会持续地量测,在有异常情况发生时,采取适当的措施以降低风险。但在地铁附近施工,如何保护地铁的安全却缺乏明确的制度与做法。由于事关众多乘客的生命,地铁的安全绝对不容忽视。即使没有造成重大灾难,地铁的运营一旦停顿,交通必定大乱,社会将会付出极大的成本。

1998年7月,在台北地铁板桥线已完工的隧道管片上发现裂隙。附近一个工地进行开挖,在2个月前已经挖到最终深度21.2m。虽然监测资料已提供给各相关单位,但因该隧道早在1995年11月即已经完成,施工单位的人员已经撤离,而运营尚未开始,隧道的安全无人过问。早在1998年2月开挖至14m时即有征兆,如果能适时采取措施以减少地盘位移,管片也许不致受损。幸好当时尚未开始运营,否则管片的补强将更为困难。

上述2个例子说明了一个事实:法令固然重要,执法更为重要。不但邻近地铁的地下工程都应经地铁当局同意方能施工,地铁当局更应委托一个独立单位同步执行监测作业,方能确保地铁的安全。

6 结语

笔者整理地铁工程中与岩土工程相关的事故,依其起因分为22类,并参考国际隧道协会的《隧道风险管理准则》,将这些事故后果分为5级。在2001—2006年期间,亚太地区地铁工程施工有5个灾难性、3个极严重、8个严重、7个重大及20个轻微事故,共有14人殒命,整体的经济损失估计约达2.5亿美元(人民币20亿元)。应注意的是,这仅限于与岩土工程相关的事故,而不涉及其他意外事件。

许多极为严重的事故,究其原因,是因地下水涌入开挖区所致,所以如何处理地下水问题是成败的关键。在地下工程中,普遍以地层加固(包括注浆及冰冻)的方式固化地层并止水,事故的一再发生,证明地层加固工法有待改进。尤其现有的地层加固规范并未认真考

虑地下水问题,必须根据过去的经验予以修订。

如果风险管理能落实,大部分事故原是可以避免的。由于地铁工程有如雨后春笋,蓬勃发展,风险管理

制度的建立刻不容缓,而风险管理的落实有赖业主、设计者、承包商及分包商的通力合作。地铁工程浩大,实应有专责的岩土工程专业顾问为工程的安全把关。

Construction Failures and Risk Management of Subway Projects

Za-Chieh Moh and Richard N. Hwang

(MAA Engineering Consultants International, Ltd., Hong Kong)

Abstract: This paper compiles the 43 failures in underground MRT constructions in the period between 2001 and 2006 in the Asia-Pacific region and classifies them in accordance with their causes of failure and consequences with the ultimate goal of developing a system for managing risks involved in underground constructions. Basically, the classification system recommended by International Tunnelling Association is adopted for the purpose. The factors included in consideration are fatalities and injuries, economic loss and impact to the public, delay to project schedule, and impact to traffic. The general principles of risk management for underground works are outlined following the recommendations made by the Independent Committee of Inquiry and the actions taken by the Singapore government subsequent to the catastrophic failure of the Nicoll Highway during the construction of the Circle Line in the year 2004.

Key words: subway projects; geotechnical engineering; risk management; accidents

开往春天的地铁

——写在地铁5号线试运营“满月”之际

政府“有财”,26年前蓝图变现实

纵贯京城南北的地铁5号线,其实很多年前就已出现在政府规划的蓝图上。

1981年,地铁5号线作为轨道交通线网的一部分,正式纳入当时北京的城市总体规划。

然而,它却在规划图上一“趴”就是20多年。

修1 km地铁,需要4.5亿元甚至更高的投入。26年前,北京全年的财政收入只有49.1亿元,根本无法支撑如此巨大的投入。

20多年间,城市的发展速度越来越快,机动车保有量越来越大,从20世纪80年代中期的不足20万辆猛增到1997年的100万辆、2003年的200万辆、2007年的300万辆;尽管道路也越修越多,却始终赶不上车辆增加的速度。路面上的拥堵变得越来越常见。

但20多年的高速发展,也在为北京蓄积越来越雄厚的财力。

1991年,北京财政收入达到78.3亿元。

2002年,北京财政收入达到了534亿元,同比增长259%。至此,北京财政收入增幅已连续八年保持在20%以上。

随着政府财力年年高涨,北京终于有了实施“公交优先”战略、大力发展轨道交通的能力。而随着科学发展观的提出,政府“公共财政”的思路也愈来愈明确清晰。

2002年12月27日,在图纸上“趴”了21年的地铁5号线全线开工。紧随其后的,是同期开工的4号线和10号线。

这一年,政府对地铁新线的年度资本金投入是6亿元,相当于1981年北京财政总收入的近1/8。之后几年,用于发展轨道交通的投入一路增加,到2006年已达到80亿元以上。

有了财政资金的大力支持,短短5年

间,北京地铁的建设整体进入高速发展期:2002年9月,13号线西线开通,2003年1月,13号线东线开通;2003年12月,八通线开通;2007年10月,5号线开通。

从54 km到114 km,再到142 km,地铁运营里程蜿蜒伸展,构建着城市新的公共交通动脉网……

公共财政提升“公交优先”吸引力

“嗨!”今年1月1日,手持IC卡的北京市民坐公交车有了不一样的心情——过去最少1元的车票,便宜到了只要4角钱。还在上学的孩子就更便宜了,只要2角钱就能坐上上下下的公交车。

4角钱,这几乎是全国最低的公交车票。

地铁5号线建成后的2元低票价,更是让市民平添一份惊喜——本市轨道交通全线网(不含机场轨道交通线)实行单一票制,票价为2元/人次,不论乘坐距离长短和换乘次数多少,2元就能坐遍京城地铁。

不仅出行费用省了,私家车主换乘公共交通的成本也大大降低。在5号线沿线的换乘停车场,凭一卡通停车换乘,停一天车只需2元钱,引来不少私家车主纷纷与5号线“接轨”。

而地铁5号线试运营一个月,便吸引乘客1231万人次,整个地铁网客流量较5号线开通前增长59%,日客流量创286万人次的历史纪录。在5号线的强大吸引下,市民通过公共交通出行的比例已达到34.5%,首次超过了小汽车出行32%的比例。

轨道交通织线成网不是梦

5号线试运营第1个月的数据和事实,又一次生动地证明:确立公共交通在城市交通中的主导地位,实施“公交优先”战略,是解决北京城市交通拥堵问题的根

本出路。

而实施“公交优先”战略的一个关键是:只要公共交通真正能让市民感到方便、感到实惠,就一定能被他们接受,受他们欢迎。

在总结分析试运营1个月情况的基础上,地铁5号线正准备朝更高效、更体贴、更人性化服务的方向作进一步调整。针对1个月来不断加大的客流,准备再新增42辆新车,运营间隔拟由4 min缩短至3 min……

即将发生改变的不仅仅是5号线——

2号线拟再新增144辆车,13号线拟新增112辆车,八通线拟新增84辆车;

明年,1号线的最小发车间隔缩至2 min 30 s,2号线、13号线、八通线地铁的最小发车间隔再缩小15 s至20 s;

在建的10号线明年开通,新增36辆车,发车间隔从原计划的4 min压缩到3 min……

再过3年,也就是2012年,9号线、10号线二期、8号线二期、亦庄线、6号线也将陆续基本建成。那时的北京城,46%的市民出行将首选公共交通,其中一半乘坐的就是快捷、环保的轨道交通。

2015年前,京郊每个新城都将有轨道交通服务,在靠近市中心的新城乘坐轨道交通,30 min就能到达市中心。

2015年后,市中心二环路以内车站的布局将是1 km 1个站,纵横交错的18条轨道交通织线成网,形成“三环、四横、五纵、七放射”的线网格局。

到2050年,北京轨道交通的总里程数将达到1000多km。

在科学发展观引领下,北京和全中国一样,如同一列开往春天的地铁,正驶向更美好的明天。

摘编自《北京日报》2007-11-10