

文章编号:1673-0836(2005)03-0319-04

城市地下空间开发利用问题的探讨^{*}李晓红¹, 王宏图¹, 杨春和², 贾剑青¹, 胡国忠¹

(1. 重庆大学西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400044;

2. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 武汉 430071)

摘要:城市地下空间开发利用是人类社会发展和需求的必然趋势。论文以重庆市城市地下空间开发利用为例, 针对重庆市遍布城市的地下人防工程、城市周边众多即将废弃的矿井和主城区地下较坚硬岩层的特点, 结合国内外地下工程和矿山地下工程开发利用的成功经验, 分析了城市地下空间开发的技术问题, 主要包括地下空间开挖及围岩坍塌类型、地下空间围岩坍塌的诱因、地下工程围岩破坏控制技术; 同时, 探讨了城市地下空间利用的问题, 主要包括地下人防工程、地下公共设施、地下运输线、地下街建设、共同沟建设; 指出了城市大深度地下空间可开发性的优点; 提出了重庆市地下空间开发利用的建议。

关键词:隧道; 围岩坍塌; 城市; 地下空间; 开发利用

中图分类号: TU984.11 + 4

文献标识码: A

Discussion about Development and Utilization of Underground Space In Mountain City

LI Xiao-hong¹, WANG Hong-tu¹, YANG Chun-he², JIA Jian-qing¹, HU Guo-zhong¹

(1. Key Lab for the Exploitation of Southwestern Resources & the Environmental Hazard Control Engineering,
Chongqing University, Chongqing, 400044;

2. Wuhan Institute of Rock and Soil Mechanics, Wuhan 430071)

Abstract: With the development of society and human requirement, it is an inevitable tendency to develop and utilize the underground space in the city. Taking the development and utilization of underground space in Chongqing as an example, thinking about the great air-raid shelter resource, the abrogating mine in suburban, hard rock under the city, combining the internal and external successful experience of developing and utilizing the mineral underground space and large deep underground space, the skillful problems are analyzed including skills about digging underground space, the type of roof rocks collapse, the inducing factors about roof rocks collapse and the skills to control the collapse of roof rocks. At the same time the utilization of underground space is discussed, including air-raid shelter, public installation, transportation lines, construction of the underground street and construction of common tunnel. The advantage to develop the deep underground space is analyzed and some advices about how to develop the underground space in Chongqing are given.

Keywords: underground space; tunnel; collapse of around rock; city; development and utilization

1 引言

21 世纪是地下空间开发利用的新世纪。地下

空间开发利用的问题一直是人类社会急需解决的重要问题,也是全世界地下工程界长期研究的重大课题。论文以重庆市城市地下空间的开发利

• 收稿日期:2005-03-07(修改稿)

作者简介:李晓红(1956-),男,教授、博士生导师,主要从事隧道灾害防治、高压水射流、环境工程等方面的工作。

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50334060)、国家自然科学基金项目(5047025)、重庆市应用基础研究项目。

用为例,探讨城市地下空间开发利用的问题。1998年,重庆市城市化水平达到20.1%,年增长率为0.38%,统计预测,到2005年全市城市化水平达到30%,2015年将达到45%,而2020年,全市城市化水平将超过50%。按照城市化发展的Logistic曲线^[1]来判断,今后重庆市城市化的发展速度将进一步加快,特别是城市化水平达到30%以后,将进入30%~70%的国际公认加速发展期,经济的高速发展加快了城市化进程。重庆市随着城市化进程的加快,城市化引起的人口规模的激增与城市基础设施相对落后之间的矛盾将日益突出,因此,开发利用城市地下空间,将是解决此矛盾的途径之一。而且,地下空间具有噪音低,无大气污染,抗多种灾害能力强等特点,从而可以创造出比地面更有效的空间。加快地下空间的开发利用已是城市发展的必须趋势。

2 地下空间开发中的技术问题

2.1 地下空间开挖及围岩坍塌问题

通过对重庆市地下空间工程坍塌问题的归纳分析,总结出导致工程坍塌的主要类型有:

(1)围岩局部坍塌。隧道及地下空间如果开挖在节理、层理和裂隙较发育的地层中,常常引起围岩体局部掉块和坍塌,虽未引起对围岩体整体失稳,但其量可以从几方到几十方。

(2)围岩整体坍塌。由于隧道及地下空间软弱围岩C、 ϕ 值较低,围岩塑性变形特性明显而引起隧道及地下空间围岩首先从边墙或拱脚变形开始增大,并逐渐发展到拱部,形成围岩的整体坍塌。

(3)围岩顺层滑移坍塌。由于围岩层间存在胶结差的软弱泥岩,且层面与较发育的节理、裂隙等构造相交,同时,岩体呈相对破碎状,从而引起不对称的、连锁的、大范围的顺层滑动坍塌。

2.2 地下空间围岩坍塌的诱因

地下空间开挖中引起工程坍塌的诱因千变万化,主要因素有以下几种:

2.2.1 勘测设计中的问题

(1)由于受勘测技术或勘测手段的限制,对工程地质条件及围岩性状认识不清,设计中遗漏隐蔽的小断层或高估围岩级别,或忽略了水理作用等而导致施工过程中出现坍塌。

(2)在比较软弱的岩体中开挖洞室,由于复杂的地形条件和恶劣的地质条件的影响,如果设计、施工不周详极易引起洞口坍塌。如洞口处在古滑

坡体上,开挖洞室后,斩断了坡脚而引起大范围的牵引式滑移,严重时能把修好的衬砌带走。

2.2.2 施工方法的问题

(1)施工方法不当引起工程坍塌。如采用先拱后墙法施工时,拱脚需加大并灌满砼,纵向设托梁,灌好拱之后要设卡口梁以防止拱的下沉和变形^[2,3]。有的施工队用此法时,开挖3m,随即灌注3m拱圈,以省去初期支护,致使纵向接缝过多,衬砌质量低下。

(2)用台阶法施工时,上台阶的初期支护不稳定,开挖下部台阶时扰动了上部支护体而造成坍塌。此类坍塌主要是由岩性软弱、上台阶支护不力、边墙失去中间土柱的支承等原因引起。

(3)当隧道或地下空间层理或节理比较发育时,在形成隧道断面时未出现坍塌,在洞室断面完成施工后,开挖附属设施(如避车洞室等)时影响了边墙的支护能力而引起坍塌。

(4)处理大规模的洞室欠挖过程中破坏了初期支护而引起坍塌。

2.2.3 爆破震动的问题

(1)施工中由于炮眼太深、炮孔数量少以及装药量大,爆破产生巨大的冲击波而造成坍塌。

(2)爆破方法使用不当引起坍塌。

2.2.4 支护技术

支护系统不力也是引起工程坍塌的主要因素之一。对施工现场的调查发现,出现支护不力的主要表现有:

(1)锚杆视施工的方便性随意布置,不与岩面垂直;锚杆向前倾斜,大大减少有效锚固长度;锚杆不加垫板。

(2)砼厚度远远达不到设计要求。

(3)用格栅拱取代锚喷网,使支护体系可靠性大大降低。

(4)在分部开挖断面时,前期支护未形成封闭环,后期工序破坏了前期支护体。

2.2.5 其它原因

隧道及地下空间失稳的诱因除了以上几种外,洞室的形状、地应力状态、支护方法等不但能引起隧道及地下工程坍塌,还可能引起岩爆和地下工程穿煤时出现煤和瓦斯突出等问题。

2.3 地下工程围岩破坏的预防与治理

2.3.1 地下工程围岩破坏的预防

为预防地下空间开挖过程中的坍塌和围岩破坏,应采取以下主要技术措施:

(1)全面使用超前地质预报技术,详实勘测地质情况。

(2)广泛应用锚杆无损检测技术,测定锚杆与砂浆之间的密实度。锚杆必须加设垫板。

(3)为了控制断面和提高光面爆破的效果,应推广使用断面仪量测断面和布置炮眼。

(4)提高钻机的钻进速度和跟进可靠性。

(5)全面推行湿喷技术及湿喷纤维砼技术。

2.3.2 地下工程围岩破坏的治理

在隧道及地下工程治理过程中,应做到:

(1)搞清坍塌处的工程地质条件。动用一切可用手段,搞清围岩强度、层理节理发育状况、地下水的发育、断层的存在与否是治理坍塌的先决条件。

(2)初步估计坍方规模及坍塌的发展过程。坍塌规模及过程不同,治理措施不同,分析坍塌原因及失稳机理,有利于治理方法的选择。

(3)先加固、降水,后出碴。由于坍方周围的初期支护和衬砌受到坍方的影响,应对这些支护体设法加固,保证其稳定性。坍塌常常伴随出现地下水的涌出,在加固的同时要做好地下水的抽放。坍塌碴堆能阻止坍塌的进一步扩展^[4],在加固前不能先出碴。

3 城市地下空间利用问题

当前,发达国家把开发城市地下空间作为解决城市人口、资源、环境三大矛盾的重要手段,地下空间的开发利用已受到广泛重视,国际上已把地下空间开发利用率作为衡量城市化进程的重要标志。不少国内外学者提出:21 世纪是地下空间开发利用的世纪;并预测 21 世纪末全世界将有三分之一的人活动在地下空间之中。

一般认为城市可开发总面积乘以开发深度的 40%^[1]为城市的地下空间资源。即:

$$V = 0.4S \times h \quad (1)$$

式中: S 为城市可开发总面积,单位 m^2 ; h 为开发深度,单位 m 。

重庆市主城区面积约 $600km^2$,以 $50m$ 为开发深度标准,主城区就有将近 12 亿 m^3 的地下空间资源;以 $10m$ 为开发深度标准,主城区也有 3 亿 m^3 左右的地下空间资源,且主城区地下岩层均为较硬岩层,开发地下空间资源条件得天独厚。

3.1 开发利用人防工程

人防工程的综合开发利用,要考虑其和平与战争两用性。只有把战时需要与平时时期需要更好

地协调起来,才能实现人防工程开发利用的“三个效益”,即:战备效益、社会效益、经济效益。

重庆市人防工程横截面面积都不是很大,但整个人防体系总体积巨大,而且绝大部分人防工程保存良好。市内可利用的人防工程仅渝中区就大约有 20 万 m^2 。目前,重庆市大量的人防工程资源还没有充分利用起来,部分利用也不是很合理。

3.2 开发地下公共设施

随着经济的发展和城市化水平的提高,城市地面早已不堪重负,许多公共设施不得不转入地下。城市功能空间转入地下的领域是非常广阔的^[5],比如商业城、停车场、游泳池、休闲娱乐场所、地下水库、工业生产车间、修理厂、仓库等。一些发达国家如美国、日本和加拿大等国的部分城市已建成地下水道污水收集和处理系统。日本有地下管道系统可以把垃圾分类输送到地下垃圾厂处理。

3.3 开发地下运输线

随着重庆市城市化的发展,一般的公共汽车已经很难满足客流量的需要,选用运输能力更大的地下有轨交通系统方案将是有效的方法之一。地下铁路运输线不仅能解决城市“乘车难”的问题,还能有效改善公共汽车对城市造成的噪声污染和尾气污染。

在开发地下运输线时,要注意地铁工程要与人防工程有机结合,根据平战两用性综合考虑地铁设计^[6]。国内外都有这样的工程实例,如:柏林地铁有现代化的防空指挥所;新加坡地铁有防核武器、防生化能力等。地铁与人防相结合,应形成网络化,这样人防工程的安全度会更高。

作为地铁这样的大型工程来说,虽然工程出入口之间距离一般为几十米,但在现代化武器的袭击下,几个出入口同时被堵塞的几率还是比较大,如果和人防工程有机相连,形成一个人防网络工程,等于大大增加了工程出入口的数量,工程的安全性也大大提高。我国利用地铁形成人防体系的实践也初见成效,如沈阳张 - 黎线地铁就提出将 $1000m^2$ 以上的 21 处人防工程通过地铁连通;南京将地铁一号线沿线共 74 个人防工程通过地铁连通起来,形成包括地铁在内的 $35000m^2$ 的点、线贯通的地下防空体系。这些将地下运输线与人防工程结合开发的思路,值得借鉴。

3.4 建设地下街

地下街是供公众使用的地下步行通道(包括地铁车站检票口外的通道、人流汇合点、中央广场等)

及面向地下步行通道两侧的商店、事务所和其它类似设施,有机构成的地下综合体(若同时配置地下停车场时,也包括在内)。地下街作为城市上部空间与下部空间的结合带,已成为城市功能下移的主要媒介,成为改善繁华街道车流与行人冲突的主要手段。

当城市某区域中人流与车流的密度超过一定范围时,就必须对人、车进行分流,否则该区域的交通状况就要陷于混乱,甚至导致最终的瘫痪。在人、车分流时,立体分流是最为有效的措施^[7,8],所谓立体分流是将车流与人流布置在两个平面,使其各行其道、有序移动。地下街的建设,能够满足以下要求:

(1)行人专用地下街,实现人车分离,减小人车争道现象,减少交通事故的发生,缓和交通阻塞。

(2)行车专用地下街,满足了车辆从繁华的街道通过的需要,方便了居住于繁华街道的居民,消除了由于车辆不通而造成附近地皮“掉价”现象。

3.5 建设共同沟

所谓共同沟,是将通讯、煤气、自来水等两种以上的管线共同收容在地下同一隧道内的综合管廊,它是现代城市基础设施中各管线的物质载体。现代城市的高密度化和生活样式的高水准化,各种供给设施的需求量急剧增加,改造和增设新的供给管线工程越来越多。目前各种地下管道的铺设比较混乱,一旦地下线路局部出现一点毛病,就要全局“动手术”。这样造成一方施工,多处停电、停水的现象屡见不鲜,对生产和生活带来巨大的影响。解决这一问题的最好办法就是构筑共同沟,减少因公共设施变化所带来地面反复开挖,从而有针对性的开挖地面局部结构进行地下设施的维修与护养。1994年上海张扬路共同沟投建并于当年正式投放使用,10年来的实际表明,共同沟设施在地下工程检修及维护方面,起着相当重要的作用。

4 矿山地下空间的开发利用

重庆市部分矿山距城区较近,交通方便,而且有部分矿山已经开采完毕,形成永久闭坑。有些矿山开采深度不大,岩体稳定性较好,这类矿山闭坑,可以改造成地下停车场或地下仓库,或作为垃圾处理厂^[9~11]。国内外综合开发矿山空间资源的例子很多,如:湖南省邵东市将一体积为 $10\,000\text{m}^3$ 的石膏矿采空区改造成地下娱乐城及商业城,仅此一举就创收数千万元。日本利用关闭的废巷道作为实

验、研究、观光使用,其中一些巷道由于大量观光者的光顾而带动了该地区的发展。德国布伦瑞克,1965年将采掘岩盐的废巷道用做深层处理放射性废物的实验设施,以及利用采矿空间作为天然气的储能库。芬兰奥陶克思普,1987年利用废矿井建立了地下矿井博物馆和地下儿童乐园,实地表演采矿作业,展示采矿器具。澳大利亚1987年利用蛋白矿采掘废址建了一个沙漠海角地下旅馆,并且很负盛名,其中除旅馆外还有土特产商店、酒吧和剧场。法国曾利用已采完的矿井废旧巷道作为地下仓库,用于储存轻油等。这些成功开发利用矿山地下空间的措施,值得我们借鉴。

5 开发利用大深度地下空间

大深度地下空间的开发利用,不仅能够扩大城市空间容量、改善城市生活质量,还能够使在两维空间中自然发展的城市转变在很大程度上实现人工控制的、在三维空间中发展的新城市^[12]。

由于城市生态基本上处于一种开放性的自然循环系统中,自然资源浪费严重。如果有可能在大深度地下空间建立封闭性的再循环系统^[12],例如污水的再使用;废弃物回收利用;能源、水资源等储存使用等等,都属于封闭性再循环系统,这样大大提高资源的使用量,从而大幅度提高城市生活质量,同时对城市功能、城市结构等产生深远的影响,城市居民的生活方式也将发生根本性的变化。

大深度地下空间更容易实现工程合理布局和规划,有利于城市线状空间的直线化和点状空间的大规模化^[13]。而且,大深度地下空间还具有更好的隔音、恒温、恒湿等性能,能满足一些文化设施、精密工厂、避难防灾等的要求,对改善城市环境、完善城市功能以及防灾等具有重要的意义。

大深度地下空间的建設成本不一定比浅部地下空间高。这是因为深度较大处,一般坚硬岩体的自稳性更好,减少了工程成本;大深度地下空间的开发更有利于工程的直线化,缩短了工程长度;大深度地下空间减少了对土地的影响,节减支付给土地所有者的补偿费用。

6 结语

城市化的迅猛发展引起的人口规模的激增与城市地面空间资源相对短缺之间的矛盾,是进行城市地下空间开发利用的根本原因。迄今为止,重庆市地下空间的开发基本上都是利(下转第328页)

代前赴后继的努力,不但要生存,而且要越过越好;不但要发展,而且要不断达到更高的水平。对于长期贫穷落后的中国来说,未来城市可能是很遥远的事情,但毕竟经过自己的努力,在几十年后将会有10亿左右中国人生活在城市中,充分享受城市现代化的成果,并继续向未来城市前进。

在今后很长的历史时期内,地下空间的开发利用都将成为人类社会生活不可分离的内容,成为城市空间的有机组成部分,在为人类开拓新的生存空间的努力中发挥重要作用,有着广阔的发展前景。这种情况并不是历史的简单重复,而是人类文明发展到更高阶段的反映。在未来城市中,人们将生活在高度舒适、便捷、文明、宜人、安全的三维城市空间中,达到人与历史、人与社会、人与自然的完全和谐。

参考文献:

- [1] 童林旭.地下空间与未来城市[J].建筑师,1989,(33)
- [2] 童林旭.地下建筑学[M].山东科学技术出版社,1994
- [3] 童林旭.地下空间概论[J].地下空间,2004(1)~(4)
- [4] 朱铁臻.城市现代化研究[M].红旗出版社,2002
- [5] 邹德慈主编.城市规划导论[M].中国建筑工业出版社,2002
- [6] 陈友华,赵民主编.城市规划概论[M].上海:上海科学技术文献出版社,2000
- [7] 杨小波,等.城市生态学[M].科学出版社,2000
- [8] 黄肇义,等.未来城市理论比较研究[J].城市规划汇刊,2001,(1)
- [9] 尾岛俊雄,日本のインフラストラクチャ,日刊工业新闻社,1983
- [10] 尾岛俊雄、高桥信之,东京の大深度地下,早稻田大学出版部,1998

(上接第322页)用了公共土地下的地下浅部空间,其深度一般小于40m。浅部地下空间的大量开发,导致后继地下空间开发越来越复杂,各种管道相互纠缠,不同层次的空间互相影响。日本银座地铁线的最低深度为16m,1982年通车的半藏门线最深达39m,这样开发的结果直接造成建设费用的增加、建设周期的延长以及建设难度的加大。这种由于规划不周密而造成的地下空间开发的混乱局面值得我们引以为戒。

在开发利用重庆市地下空间的同时,建议还要做好以下几方面的工作:

(1)浅层地下空间和大深度地下空间整体规划,综合开发利用,避免两者相互影响,互相制约,限制地下空间的后继开发。

(2)大深度地下空间开挖方法的研究。

(3)建设系统的共同沟网络工程,减少施工对生产及生活带来的影响。

(4)立法确保大深度地下空间的合理开发利用。大深度地下空间开发利用的可能性取决于法律制度、经济性、相关技术水平、安全性等因素。

参考文献:

- [1] 钱七虎.迎接我国城市地下空间开发高潮[M].岩土

工程学报,1998,20(1):112-113

- [2] 于书翰,杜漠远.隧道施工[M].人民交通出版社,2004
- [3] 王毅才.隧道工程[M].人民交通出版社,2004
- [4] 田志萌,黎学文.嵩待公路3号隧道坍塌冒顶原因及施工措施[J].西部探矿工程,2003,10(2):79-80
- [5] 刘宝琛.综合利用城市地面及地下空间的几个问题[J].岩石力学与工程学报,1999,18(1):109-111
- [6] 陈志龙,郭东军,曹晖.地铁与人防相结合原则的探讨[J].岩石力学与工程学报,2001,21(增):020-2022
- [7] 王璇,束昱,候学渊.城市地下空间开发利用与基础设施建设[J].地下空间,1994,14(4):253-256
- [8] 彭芳乐,孙德新,袁大军等.城市道路地下空间与共同沟[J].地下空间,2003,23(4):421-426
- [9] 祁红卫,陈立道.城市居住区地下空间开发利用探讨[J].地下空间,2000,20(2):137-140
- [10] 彭颖,夏才初,王文杰.地下空间在我国城市立体开发中的发展[J].地下空间,2003,23(2):216-219
- [11] 姜玉松.矿业城市废弃矿井地下工程二次利用[J].中国矿业,2003,2(2):49-62
- [12] 童林旭.日本的大深度地下空间利用动向[J].地下空间,1994,14(3):192-199
- [13] 李小春,宇静.日本地下空间利用[J].岩石力学与工程学报,2004,3(2):4770-4777