

# 伦敦供水环线与管网布局分析与启示

李 树 平

(同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

**摘要** 如何使供水管网合理布局, 适应城市发展, 满足水量增长与运行管理需求, 是自来水行业面临的重要任务。对伦敦供水环线建设起因, 环形干线、竖井和净水厂改造与升级, 以及供水管网控制系统结构等方面进行了论述。在此基础上指出, 供水管网合理化布局应注重安全供水保障、节约运行成本、灵活调度水量以及日常运行调度和控制等要求。

**关键词** 伦敦 供水环形干线 供水管网 合理化布局

## 0 引言

随着城市发展, 在供水管网改建和扩建过程中, 合理化布局遇到巨大挑战, 体现在: ①由于对供水管网缺乏整体控制, 往往根据用户用水需求逐段发展, 致使城市供水网络布局混乱; ②由于城市经济、文化中心的调整, 原本不发达的地域变成商业繁华、人口密集的区域, 而原有管道不能适应当前或规划供水的需求; ③城市供水基础设施不断老化, 故障频繁, 影响供水服务质量。

因此, 如何使供水管网具有合理布局, 适应城市发展, 满足水量增长与运行管理需求, 是自来水行业面临的重要任务。城市供水管网布局改造中, 伦敦市供水环线的建设不失为一种典型状况。该供水环线用大型隧道连接伦敦市的主要净水厂并形成环状, 中间设置提升竖井, 结合原有管网, 共同向用户供水。为此对伦敦供水环线特征和建设起因, 相关竖井和净水厂改造与升级, 以及供水管网控制系统结构等方面进行分析, 提出供水管网合理化布局方面的几点启示。

## 1 伦敦供水环线

伦敦供水环线为近 80 km 的 2.54 m 内径隧道, 从伦敦西南部泰晤士河谷的净水厂输送饮用水, 沿着伦敦形成了闭合环路(见图 1)。它包含了原有 19 km 的南部隧道干线, 具有输送 130 万 m<sup>3</sup>/d 出厂水的能力, 代表了超过 50% 的当时(大约 1986 年)伦敦需水量, 隧道内水流设计流速 1.25 m/s。自

地面算起隧道的平均深度为 45 m, 埋深最大部分超过 70 m。通过现代化和升级净水厂处理工艺, 关闭较老、较不经济的净水厂, 使伦敦净水厂布局合理化。该项目由泰晤士水务公司承建, 开始于 1986 年, 竣工于 1993 年; 并于 2008~2010 年进行了部分扩建<sup>[1]</sup>。

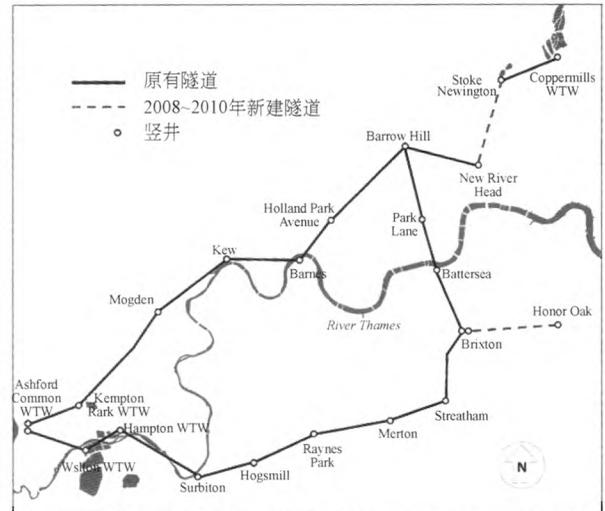


图 1 伦敦供水环线布置示意<sup>[1]</sup>

环形干线概念的实质是, 水在环形干线内重力流动, 水的运动受净水厂出水水头的压力驱动。靠近配水需求区域设置竖井泵站, 将水提升到浅层地表, 进入当地配水系统。目的是避免泰晤士河谷净水厂向较远服务区域供水的高压提升需求, 节约能量并省去了高扬程泵站的建设, 缓解了现有干管在高压下的运行。环线中的任何出口竖井可以从两个方向进水。为提高供水保证率, 在一座净水厂由

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07403-001)。

于故障不能向竖井供水时,可以从另一座净水厂获得供水;同时单个配水分区可以接受至少来自 2 个竖井源头的供应。图 2 比较了现有和建议系统的水力特征<sup>[2]</sup>。

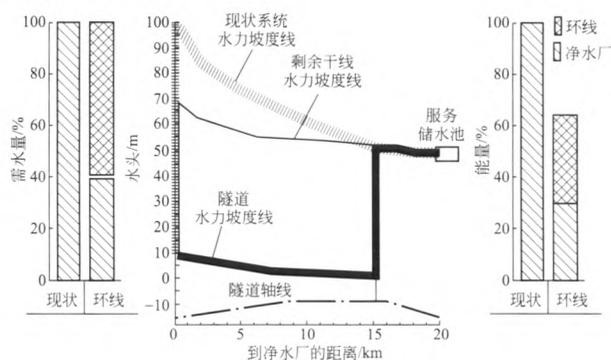


图 2 典型水力机制<sup>[2]</sup>

通常,环形干线将在设计流量下(各部分管道输送能力约为 55 万 m<sup>3</sup>/d)运行,输送服务流量为恒定部分;每日的需水量扰动部分,将由原有浅层地表主干配水管道系统(相对于深层敷设的环形干线而言)满足。图 3 说明了建议的(平均日和高峰日)水量供应机制。

环形干线建设的关键是,80%沿着伦敦粘土,采用了楔块片断方法(见图 4)。它具有以下优点:①经济:2.54 m 直径隧道的成本大约相当于 1 200 mm 直径常规供水干管的成本,而供水能力提高至 4 倍;②充分利用伦敦粘土的强度和不渗透性,防止了漏水和污染;③负荷的应力立即返回到土壤,减少了显著沉降的可能性;④维护需求较小,资产的安全性显著;⑤不需要螺栓或者泥浆,施工速度快,平均为每周 150 m。

## 2 供水环线建设起因

20 世纪 80 年代初期,伦敦市包含了 9 000 英里(约合 14 500 km)的供水干管和 60 个供水分区,各分区之间通过管道连通。伦敦的自然地形在供水管网布局中起到重要作用:伦敦北部处于主要服务区域,由专门的服务水库供水;伦敦南部低、中和高压区,压力差可达 70 m。多数净水厂位于城市边缘,70%以上供水来自泰晤士河谷的 6 座净水厂,出厂水需要在较高压力、较长距离下输送至用户。随着管道老化,当时 25%的干管服役超过了 100 a(见图 5)。在高压力和管道老化双重因素下,增加了供

水管网漏水和爆管的风险:一年中有 50 次大型管道故障,基本为每周 1 次。管道修理过程也给用户和交通带来不便。

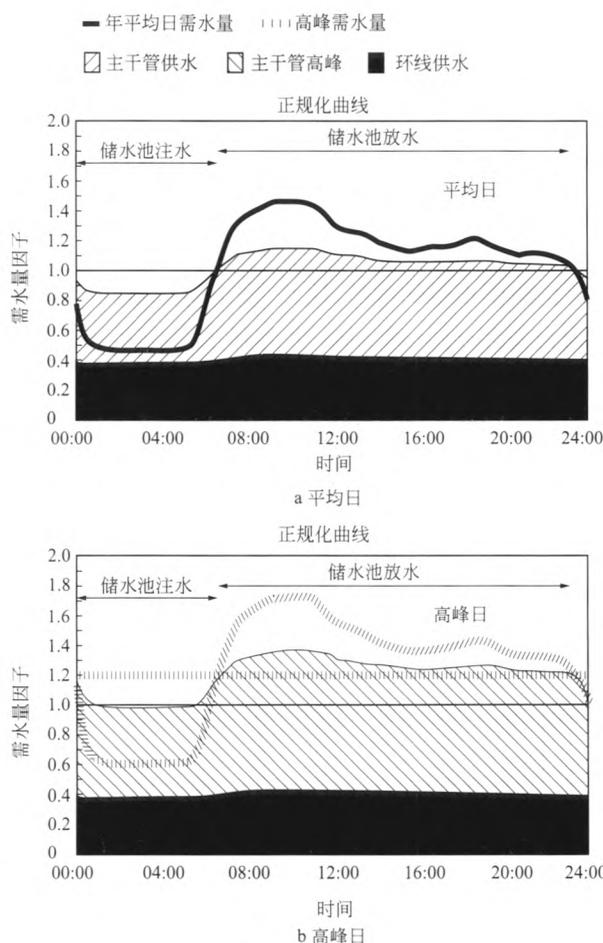


图 3 典型水量供应机制<sup>[2]</sup>

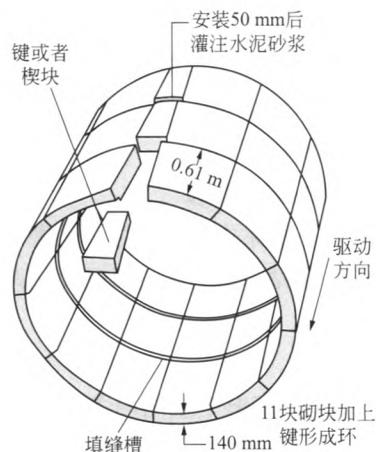


图 4 楔块衬里立体示意<sup>[3]</sup>

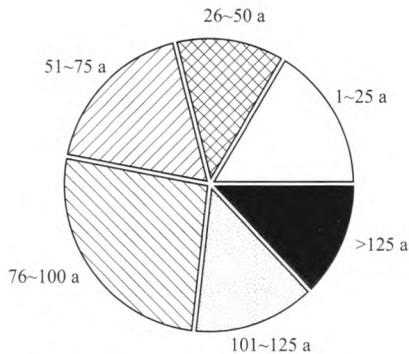


图5 1987年主干管线管龄分析<sup>[3]</sup>

伦敦供水量的增长,从20世纪初开始,平均速率大约为每年1%;到1985年达到了200万 m<sup>3</sup>/d(见图6)。当时预计,通过采取严格的控制漏水与节水措施之后,在1988~2006年间供应水量期望上升15%。泰晤士河谷处理的高峰日水量,以及大体从西向东的输送,在1988~2006年间,期望上升30%。



图6 伦敦供水量的增长<sup>[3]</sup>

为解决伦敦市水量增长、管网老化、供水事故频繁等一系列问题,伦敦供水的发展最初考虑了两种备选策略:①结合净水厂的扩建,对传统干管进行扩建、更新和修复;②建设伦敦供水环形干线,合理改造净水厂。通过论证,认为建设伦敦供水环形干线具有技术经济可行性。

### 3 供水环线相关配套建设

供水环线工程除主体隧道工程建设外,还包括竖井泵站建设,净水厂现代化改造和工艺升级等。

#### 3.1 竖井

每一竖井作为环形干线向服务区域供水的出口,设计内径为13 m,深度约50 m。竖井内按照6台标准泵组设计,进出水隧

道内设置了隔离阀(见图7)。多级水泵装置利用竖向长轴电机驱动。为提高环形干线的水锤防护,竖井中设有涌水柱。

竖井位置的选择要考虑以下因素:①靠近主干管道;②具有土地所有权;③环境影响小;④靠近主干道路;⑤附属建筑建设的可能性。最终竖井的8处位置选择在当时泰晤士水企业管理范围内;2处场地选择在主干道路中心保留/环岛处。

竖井建议的运行模式,根据保持水量恒定的局部供水机制,每一竖井将服务于多个配水分区,对应于地理上的大型区域。

#### 3.2 净水厂改造与升级

以往来自泰晤士河和利河的原水通过慢砂过滤工艺处理。研究表明较高速率的慢砂过滤是可行的,通过增加较大净水厂的产量,可以关闭较小、较不经济的净水厂。因此,联合对主干配水问题的解决,将进行伦敦净水厂合理化布局。当时服务于伦敦的9座净水厂中将关闭4座,同时通过净水厂的工艺改造和升级,满足增加的需水量要求。保留的5座净水厂分别为泰晤士河谷的Hampton, Walton, Ashford Common和Kempton Park净水厂,以及利河谷的Coppermills净水厂,它们均能向环形干线供水。正常运行下由Ashford Common,

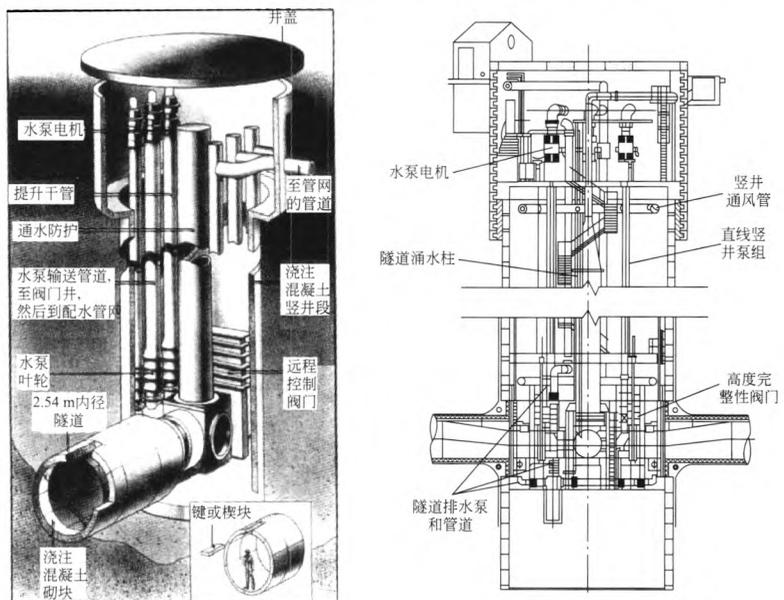


图7 典型水泵竖井

Hampton 和 Coppermills 净水厂向环线供水,其他 2 座净水厂负责原有管网的供水量。

#### 4 控制系统结构

为随时匹配供水和需水状况,伦敦供水环线和主干配水系统运行的重点,放置在控制系统的开发。需水量和供水量之间的时间差范围要求在 15~60 min,因此必须提前一天预测第二天的需水量,将根据三层系统控制(见图 8)。

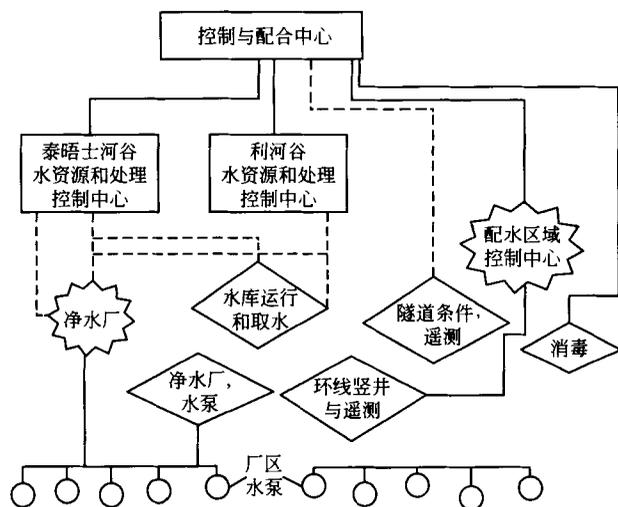


图 8 伦敦水处理和主干配水控制层次<sup>[3]</sup>

控制的顶层为控制与配合中心。该中心将确保需水量与供水量的平衡,维持最经济方式的供水。紧急情况下,所有控制活动将需要该中心授权。配合中心也将通过压力、流量、隧道条件和一般安全性,监视隧道系统。

区域性水泵的运行将从区域控制中心监视,形成第二层,它负责几个配水分区的供应。它在当地基础上控制,执行配水管网中物理测试。响应于需水量,区域设施将调整来自环形干线和主干管线的压力,保证和维护区域供水服务。

控制的最后一层将在提升泵站内执行,根据从区域控制中心下载的预置日程,响应于系统状态内可检测的变化。

供水环线的基本监视控制与数据获取(SCADA)组件是大量 63 mm 内径的管对,它从每一竖井向下进入,沿着隧道从另一竖井向上伸出,形成 U 形管的网络。它们包含了纤维光缆,将各种监测数据连接到控制与配合中心。监测数据将覆盖

储水池水位,分配终端的压力、流量,竖井气体检测、通风,水泵特征、电力消耗,处理厂浊度、余氯等。

#### 5 启示

伦敦供水环线的建设对管网布局合理化具有很好的借鉴作用,主要体现在:

(1) 注重安全供水保障,通过多水源联合供水、竖井双向供水、配水分区多方向受水等措施,提高供水可靠性。

(2) 注重节约运行成本,通过供水环线重力输水、竖井提升,降低了管网长距离输水的运行压力,减少了漏水和爆管的几率。

(3) 注重供水量灵活调度,运行中使环线提供基本需水量,依靠浅层地下管网和蓄水设施适应用户需水量的变化。

(4) 注重运行调度与控制系统建设,开发供水管网运行与调度系统,便于分层次进行日常供水的监视、调节和管理。

#### 参考文献

- 1 Jones B. Underpassing of angel underground by London ring main extension tunnel. *International Journal of Geoenvironment Case Histories*, 2011, 2(2): 105~125
- 2 Keane M A, Kerslake J C. The London water ring main: an optimal water supply system. *Water and Environment Journal*, 1988, 2(3): 253~267
- 3 Dickens W J, Bensted I H. London water ring main. *Proceedings Institution Civil Engineers*, 1988, 84(3): 445~474
- 4 Farrow J P, Claye P M, Warren R B. Design of the Thames water ring main. *Water and Environmental Management Journal*, 1996, 10(1): 1~9
- 5 Went R P F, Ricketts A D, McDonald H. The Thames water ring main: mechanical and electrical installation. *Water and Environmental Management Journal*, 1996, 10(1): 10~16

♀ 通讯处:200092 上海市四平路 1239 号同济大学环境科学与工程学院

电话:(021)65985869

E-mail:lishuping@tongji.edu.cn

收稿日期:2013-08-26

修回日期:2013-12-19