

区域供水的成效及长距离输水管道设计中的若干问题探讨

[\[我要评论 \]](#) [\[返回 \]](#)

作者：于德强;
出自：中国土木工程学会水工业分会给水委员会第十次年会暨 2005 年中日水处理技术交流会
发表时间：2005-11-9

摘要：区域供水模式是解决水源不均衡分布的有效办法，而长距离输水管道则是联系水源和缺水地区的纽带，本文以东莞市区域供水现状为背景，结合东莞市第六水厂一期输配水管道工程，探讨区域供水的成效及长距离输水管道设计中的若干问题，以确保输水管道工程设计的经济和合理。本文主要从路由的选定、管材的比选、管道的防腐、管道的基础处理及沟槽支护、穿越障碍物采取的措施等方面进行探讨，希望对今后的设计起到借鉴作用。

区域供水的成效及长距离输水管道设计中的若干问题探讨

于德强

摘要：区域供水模式是解决水源不均衡分布的有效办法，而长距离输水管道则是联系水源和缺水地区的纽带，本文以东莞市区域供水现状为背景，结合东莞市第六水厂一期输配水管道工程，探讨区域供水的成效及长距离输水管道设计中的若干问题，以确保输水管道工程设计的经济和合理。本文主要从路由的选定、管材的比选、管道的防腐、管道的基础处理及沟槽支护、穿越障碍物采取的措施等方面进行探讨，希望对今后的设计起到借鉴作用。

关键词：区域供水 输水管道 管材 管道防腐

1 东莞市区域供水模式的提出及成效

1.1 区域供水模式的提出

东莞市北濒东江，东江多年平均径流总量为 275 亿立方米，水质达到Ⅱ类水源标准，有水量充沛、水质较好的特点。上个世纪九十年代中期，东莞市加大了引资力度，经济快速增长的同时，由于缺乏统一规划的排水及污水处理设施，大量废水超标排放使河涌、山塘、水库，水源水质急剧恶化，特别是原来作为很多镇区饮用水水源的东引运河已沦为沿河各镇的排污主渠。东莞市除了东江和部分水库水源水可达标外，已经没有合格水源，东江已经成为东莞市供水水源的唯一选择，水源的水质恶化使许多镇区供水矛盾日益突出，除去东江中、上游沿岸及东深供水工程经过的镇区外，其余 20 个镇区皆存在不同程度的缺水，因此通过在东江边取水、建设大型水厂，通过中、长距离输水管道送往各缺水镇区，实行区域供水才能解决这部分地区的缺水问题。

1.2 区域供水模式的成效

东莞市采用区域供水模式，打破了传统供水模式条块分割的局面，有效地重新配置了水资源，对保障全市供水，促进行业发展及整个社会经济发展起到了积极作用。

(1)有效地解决了水源水水质及水量的问题，对水资源进行了重新配置。

区域供水的提出根源在于整个市域内水资源分布不均衡，水体急剧污染，而区域一体化供水使得水资源在更大范围进行了重新配置，有效的解决了水资源分配不均衡问题。

(2)适应了供水产业的特点，有效地形成了产业规模。

供水属于城市公用事业，是受政府管制的非完全竞争的行业，具有规模经济性、自然垄断性等经济

特点,供水企业规模大小基本决定了成本,成立一家大型水务公司进行区域供水在以下几方面显示了巨大优势:

- 大规模供水工程的建设显著的降低单位工程造价,节约了社会总成本。
- 以大企业为依托,拓宽融资渠道,有效地解决建设资金不足,发展滞后的问题。
- 相比小水厂工艺落后,技术人员缺乏,制水成本高,水质不稳定,大型水厂采用先进的制水工艺设备,采用全自动化生产控制,有效地保证水质和降低了制水成本。

2 长距离输水管道设计中若干问题探讨

2.1 示例工程概况

东莞市第六水厂一期工程包括取水、净水及输、配水三部分。该工程作为东莞市区域供水的组成部分,主要是解决东莞市中西部区域长安等 5 个区镇的用水紧张问题。其中,取水及净水工程位于东莞市东城区,输配水工程则地跨东城区、寮步镇、大岭山镇和长安镇。水源为东江,一期工程规模为 50 万 m³/d,输水管道直径为 DN2600~DN1800,全长约 39 公里。

2.2 输水管道系统设计

东莞市第六水厂一期工程作为东莞市区域供水的重要组成部分,利用长距离输水管道将清水送往长安、大岭山等缺水镇区,一期工程采用单管,管径为 DN2600~DN1800,在线路中途预留连通位置,安装连通阀门,待二期工程实施后实现双管供水,在系统故障时,两条输水管线互为备用,以满足 70% 以上保证率的要求。由于一期工程采用单管供水,在中途与东莞市另外两个大型水厂的输配水管道进行连通,既提高了供水安全性,也利于东莞市供水系统的优化调度。

由于区域供水是一个系统工程,含多个子系统,若规划不当,将造成建设费用增大,并影响今后的运行费用,因此规划方案非常重要,第六水厂一期工程作为东莞市区域供水的一个子系统,工程建设依据以往的经验,即管网优先建设、管径适当放大、水厂分期建设、留有一定挖潜能力。

2.3 管材的选择

由于管材占输水管道工程投资的大部分,因此在长距离输水工程设计时都要进行管材的比选,对节省投资、便于施工、安全运行都具有重要意义。管材的选择一般根据工程的规模、管道的工作压力、输水距离的长短、工程的进度与重要性,以及工程所在地的地形、地貌、地质情况,当地管材的生产状况,应用管材的习惯,特别是工程的资金落实情况,经技术、经济、安全等方面论证比较后确定。

目前应用于长距离输水工程大口径管道的管材有钢管、球墨铸铁管、预应力钢筋砼管(PCP)和预应力钢筒砼管(PCCP)、玻璃钢管等,下面就这几种管材分别论述:

2.3.1 钢管

钢管应用历史较长,范围较广,通常选用 Q235-A 或 Q235-B(A3)镇静钢钢板制作,它的强度高,管材和管件易加工,管厂建设周期短,特殊地段(如顶管、过河段)一般都采用钢管,但钢管的刚度小,易变形,衬里及外防腐要求严,必要时需作阴极保护,施工过程中组合焊接工作量大,与水泥压力管相比,造价较高。

大口径钢管有两种成形工艺,即直缝焊管与螺旋焊管。螺旋焊接钢管采用卷板,利用螺旋管焊接生产线一次成型,但螺旋焊接钢管的焊缝较直缝焊接钢管的焊缝长,这就意味着薄弱环节多,可靠性差,因此输水管道常采用直缝焊接钢管。

2.3.2 球墨铸铁管

离心球墨铸铁管:离心球墨铸铁管由于性能优异,具有优良的抵抗外部荷载能力、能满足各种地质情况要求;球墨铸铁管可承受内水压力超过 2.0Mpa 以上,它比非金属管材强;球墨铸铁管内衬为水泥砂浆,管内输水符合卫生要求;安装、运输方便快捷,能够满足施工工期的要求;防腐性能优异,使用寿命长,球墨铸铁管通常有 50~100 年的使用寿命,比化学管材及钢管使用寿命长;维修费用低,输水能力强,越来越广泛用于城镇供水行业及城镇燃气行业,离心球墨铸铁管作为一个比较成熟的产品,从制造、设计、



施工安装应用等均已形成了系列的国家、国际标准，是输水、输气的首选管材。但大口径管道铸造难度大，造价略高，管道制造周期长，并且大口径球墨铸铁管管壁薄，承、插口端容易变形，影响管道敷设。现国内球墨铸铁管的生产能力达 100 万吨/年，口径从 DN100~DN2200mm，国内球管厂家对管径大于 DN2200 的球墨铸铁管还没有生产和应用经验。

2.3.3 预应力钢筋混凝土管 (PCP)

预应力钢筋混凝土管按生产工艺分为：一阶段管和三阶段管。

(1) 一阶段管

一阶段管的制管过程是先把作为环向预应力钢丝的钢筋骨架放到装配好的管模中，布置上纵向钢筋，用电热法或机械法使纵向钢筋获得预应力，然后浇注砼，此后向特制的橡胶内膜中注水升压，使胶模膨胀，砼、外模和钢筋一道膨胀变形，把砼中水份排挤掉。环向钢筋获得了预应力，并立即进行蒸汽养护，待砼凝固后将内模中的水压泄放，脱外模即成产品。

目前国内生产的最大口径达 2m，这种管材的特点是强度及抗渗性较好，管壁较薄，但外模合缝处容易漏浆，修补率高，承口要磨削加工。

(2) 三阶段管

三阶段管是指一根管材分三个阶段制成，先做成一个带纵向预应力的砼管芯，管芯外缠环向预应力钢丝，然后作水泥砂浆保护层。

此种工艺建厂费用低，宜于流动性生产，唯抗渗性能差，修补率高，管体笨重。

预应力钢筋混凝土管在价格上低于其它管材，但在强度、韧性、抗震性等方面均低于上述管材。预应力钢筋混凝土管一般应用范围是：管径小于 2000mm，管道工作压力 0.4~0.8Mpa 之间，大口径、工作压力大的情况应慎重。

2.3.4 预应力钢筒混凝土管 (PCCP)

预应力钢筒砼管是在带钢筒（薄钢筒的厚度约 1.5mm 左右）的砼管芯上，缠绕一层或二层环向预应力钢丝，并作水泥砂浆保护层而制成的管子。它的开发应用已有半个多世纪的历史，这一技术是法国 Bonna 公司最先研制的，现已广泛应用于城市输配水干管、火电站供水管、水利工程、雨污水干管、工业供水及废水管线等方面，目前世界上规模最大的利比亚“人工河”第一期工程，全长 1900km，就是使用直径 4m、工压 2.8Mpa 的预应力钢筒砼管敷设，工程全部完工后运行情况良好。

预应力钢筒砼管的特点是：由于管芯中嵌入了一层薄壁钢筒具有较好的抗渗性；由于承插端的工作面是定型钢制口环，几何尺寸误差小，承插工作面间隙仅 1-2mm，O 型胶圈占满凹型槽内，密封性能良好，在内水压力下，胶圈无法冲脱，往往滴水不漏，从而改善了一阶段、三阶段管胶圈安装不到位则容易冲脱、承插口容易滴水的问题；此类管材承内水压力高、埋土深度大；此类管材的管件配套齐全、简便、可靠。但是该管重量大，运输、施工和维修管理不便，由于是半柔性管，对管道基础要求较高。

预应力钢筒砼管的管径范围是 DN400~4000mm，最大可达 DN7600mm，其中 DN≤1200mm 为内衬式管、DN>1200mm 为埋置式管。工作压力通常为 1.5~3.0MPa，可达 5.0MPa。经过近十年对引进技术及设备的消化，这种管材已经完全国产化了，且于 1996 年此类管材在我国建材行业颁布了《预应力钢筒砼管》行业标准 (JC625-1996)，其应用前景广阔。

2.3.5 玻璃钢管

玻璃钢管是指玻璃纤维增强树脂塑料管。

玻璃钢管的特点是强度较高，重量轻，耐腐蚀，不结垢，内壁光滑阻力小，在相同流量条件下比其它管材管道水头损失小、节省能耗；管道接口为承插式，并设置胶圈，安装方便；玻璃钢管与其它塑料管一样，均存在应变腐蚀问题；玻璃钢管刚度小，管道基础要求较严，必要时需作砂垫层，但它重量轻，抗腐蚀，安装容易；玻璃钢管破裂维修，通常采用树脂粘补，它必须在干燥的环境下作业，这正是供水管道难以具备的条件；管材始终存在废旧料的再生回收、焚烧处置的问题，热塑性塑料管及热固性塑料管的最终焚烧处置大多数对环境造成不同程度的危害。由于玻璃钢管采用复合材料，理化特性指标的离散性较大，必须严格控制生产制造、设计、施工各环节质量。玻璃钢管行业生产标准已经颁发，施工验收标准和设计



规范在编制过程中,设计时玻璃钢管的内壁粗糙系数一般取 $n=0.009$ 。

以上为目前国内常用的大口径管材的特点及其适用范围,在长距离输水管道工程设计时,管材选择的综合评价应进行技术经济分析,并从下五个方面评定:

- (1) 管材性能可靠,能承受要求的内压和外荷载;
- (2) 管材来源有保证,管件配套方便,运输费用低或管厂建厂周期短;
- (3) 施工机具及安装容易;
- (4) 使用年限长,维修工作量少;
- (5) 输水能力相同条件下,工程造价低。

近年来国内在输水管道使用钢管在施工和管理上都积累了大量经验,尽管钢管较非金属管材造价要高,但目前在国内大口径输水管道上应用较为广泛,东莞市的长距离输水工程采用的管材均为直缝焊接钢管。

2.4 管道防腐

2.4.1 涂层防腐

本工程管道外防腐采用四油二布环氧煤沥青防腐层,厚度为 0.6mm。质量要求符合《埋地钢质管道环氧煤沥青防腐层技术标准》(SY/T 0447-96),防腐前应进行除锈达到《涂装前钢材表面处理规范》(SYJ4007-86)中的 Sa2^{1/2} 级标准。管道安装后接口防腐采用塑化沥青防蚀胶带,质量要求符合 Q/ZLC002-1997 标准。管道内防腐应在试压、还土合格后进行,采用机械喷涂水泥砂浆衬里,厚度为 15mm,质量要求应符合《埋地给水钢管水泥砂浆衬里技术标准》(CECS10:89)。喷涂前应进行去污除锈,达到《涂装前钢材表面处理规范》(SYJ4007-86)中的 St3 级标准。管件的内、外及接口的除锈和防腐要求与管道相同。

2.4.2 钢管的阴极保护措施

为了防止钢管外表面的腐蚀,确保管道长期安全可靠地运行,采用阴极保护技术可以有效地抑制钢管在土壤中的腐蚀。

(1) 阴极保护必要性

钢质管道在土壤中的腐蚀主要是电化学腐蚀。由于土壤中各种因素的影响,在管道表面形成宏观及微观的阳极区和阴极区,从而形成腐蚀电池。东莞市位于珠江三角洲中心,人口稠密,工商业极为发达,用电负荷大,地上地下的输电线路,变电站,大型企业等均会在地下土壤中产生杂散电流的干扰,对管道的运行产生不利影响。同时,工业的飞速发展,造成大量工业和生活废水排放,倘若得不到有效处理,也会对周围河流,土壤产生严重污染,各种污染介质均会对地下管道产生严重的腐蚀。

(2) 阴极保护方法的选择

阴极保护措施有牺牲阳极法及外加电流法,东莞市第六水厂一期输配水管道地处东莞城镇地区,管道沿线厂矿企业、商业和居民建筑群密集,地下各种管道繁多。采用强制电流阴极保护法则会对其它地下钢结构产生干扰作用,故采用牺牲阳极法来保护输配管道。

(3) 技术要求

i) 根据规范要求,管道沿线土壤电阻率的高低决定采取不同形式的镁阳极。如棒状镁阳极,高电位棒状镁阳极,带状镁阳极。根据实测电阻率及《埋地钢制管道牺牲阳极阴极保护设计规范》(SY/T 0019-97)规定,当土壤电阻率 $>100\Omega\cdot m$ 时采用带状镁阳极保护。

ii) 为防止阴极保护管道的保护电流的流失,在管线的首、末端以及沿线各个交水点位置,均应采取电绝缘措施,一般在上述地点安装阀门的法兰上采用非金属进行电绝缘,成为绝缘法兰,其绝缘电阻应 $\geq 2M\Omega$ 。同时,材料在绝缘法兰的内外裸露金属表面仍采用加强级涂料防腐,防腐层长度大于管径的 1.5 倍。

iii) 混凝土电位测试桩

设置混凝土电位测试桩用来测量管道保护电位。平均每公里设置一个,每个测试桩处理设长效 Cu/CuSO₄ 参比电极一支。根据现场实际情况和利于今后测试人员方便,测试桩埋设在路边、田间、城市绿化带等位置。

iv) 钢制电化学测试桩

在埋设棒状镁阳极的管段，设置电化学测试桩。用来测量牺牲阳极保护中的各种电化学参数。例如阴、阳极开路电位，闭路电位，阳极发生电流等。电化学测试桩应设置在安全、便于测量的位置上。本段管线不设置电化学测试桩。

钢管的最大缺陷是在自然环境中易产生腐蚀，因此在做好钢管的内、外防腐的基础上，对钢管进行阴极保护无疑对于提高管道的使用寿命、充分发挥投资效益有着重要的作用。

2.5 管道基础处理及沟槽支护

由于南方地区软弱地基较多，在设计时需要根据地质勘探报告及地面障碍物情况给出基础处理办法和沟槽支护方式，从而有效的控制工程造价。

2.5.1 管道基础处理

针对南方地区的地质特点，管道基础一般分以下几种情况进行处理：

- 淤泥土质在管底以下 1m 内时，应全部清除淤泥土质并换填好粘土或粉土，换填至管底高程，分层夯实，密实度系数不小于 0.9。
- 当管底地基在 1m~4m 范围内的淤泥土层时，应满槽施工打入直径为 100mm 的松木桩，间距为 300mm 呈梅花形布置。再在松木桩上顶换填碎块石（块径小于 300mm），厚度为 400mm。然后在碎块石顶面换填 200mm 厚的石粉渣。
- 当管底地基为大于 4m 以上范围的淤泥土层时，可采用水泥搅拌桩方式。桩径 D=550mm，间距为纵向 1.2m，横向 1m，共 4 排。桩顶为管道中心，桩底为穿过淤泥土层、至下一土层 2m 以上。
- 当管道遇到大面积水塘，可采用钢筋混凝土支架跨越管道结构方式。钢筋混凝土支架可采用钻孔灌注桩形式。如果场地条件允许可采用预应力钢筋混凝土预制管桩的形式，施工快且节省工程费用。

2.5.2 沟槽支护

所有管道基槽开挖时，必须做好施工降水，做好基槽坑边的支护，基坑边不能堆放弃土，不能有重型及大型机械设备，以免增大对基坑支护的侧压力。

由于南方地区地下水位较高，特殊地段的沟槽支护方式常采用拉森钢板桩支护，这种支护方式，既可以起到挡土作用，从而减少开槽断面，也可以起到止水作用，便于施工，但费用较高。

2.6 穿越障碍物

2.6.1 管道穿越河流

东莞市地处水乡河流纵横交错，长距离输水管道不可避免的与河流多次交叉，根据在广东地区积累的多年经验，管道在穿越河道时多采用沉管施工方式，该方式具有施工速度快、投资省的优点，但维修困难，需要水下作业。做过河管设计时需要注意以下几点：

- 需要委托航道部门进行水下测量，并请航道部门提出河道的规划断面及技术要求。一般过河管管顶高程在规划河底高程以下 1.0m，并且管道在河底的直线段应满足河道的规划断面宽度要求；
- 过河管沉管施工时，两侧斜管段上口应高出河流的常水位，待管道沉到设计高程后，局部进行抛石固定，然后去除管道上吊耳等突出物，以免船只抛锚时刮到，然后沉管段沟槽内需回填碎石至现况河底，两侧河岸管道视水位及设计高程关系，确定是否需要采用围堰施工；
- 管道穿堤部分需根据水利部门要求设钢筋混凝土包封，并且每隔 3 米设止水环 1 个。
- 管道施工完需要按航道部门要求设置标志，沉管上下游河岸都需进行衬砌。

2.6.2 管道穿越道路

管道穿越主要道路时一般采用顶管施工方式，一般道路采用开槽施工。

3. 结论

区域供水是解决地区性水源不均衡分布的有效模式，长距离输水管道是实现区域供水的手段，经济、合理地进行输水管道设计对确保整个供水系统的安全性和控制工程投资都有着重要意义。对于南方地区长



距离输水管道设计,把握住管材的选择、管道基础处理和沟槽支护及穿越障碍物的处理措施等环节是控制工程投资的关键,同时做好管道的防腐及阴极保护可以延长管道的使用寿命,充分发挥投资效益。输水管道设计看似简单,但把握各个技术环节,使得设计更为合理,是每个设计人员都应该重视的问题,希望通过本文能对今后设计起到借鉴作用。

中国城镇水网
www.chinacitywater.org