

# 第 1 章 概况

## 1.1 南水北调中线天津干线工程混凝土输水箱涵关键技术

水利工程穿越道路、河流的交叉建筑物、枢纽及箱涵较多，而箱涵这种洞身以钢筋混凝土箱型管节修建的涵洞，是一种常见的重要的输水工程建筑物型式。因其具有施工方便、结构简单、地基压应力均匀、整体性好、造价低、不影响河道泄洪和道路通行等优点，并且具有耐久性强、施工方便、变形小、糙率变化小等特点，在输水工程中广泛应用。在跨流域调水工程中，倒虹吸是输送水通过山谷、河流、洼地、道路或其他渠道的压力管道，多设计成箱型，结构形式也类似于箱涵。

南水北调中线工程输水总干渠全长 1432km，是一项跨流域、跨省市的特大型水利工程，天津干线是南水北调工程的重要组成部分。工程中布置了大量的钢筋混凝土箱涵，由于引水流量大，分配的水头损失小，因此箱涵设计断面比较大。同时，由于箱涵混凝土浇筑方量大，质量要求等级高，施工场地狭窄，作业仓面大，各个工序的衔接受到一定制约。尤其是在城市地段施工时，混凝土的拌制、运输、浇筑等环节的作业，也应有更高的环保要求。尤其是在高温季节施工，由于仓内混凝土表面蒸发坍落度损失较快，混凝土“老化”加速，易发生混凝土早期板结、层间结合不好、出现冷缝等现象。

众所周知，水工建筑物在运行中受到较大的水压力，工作条件复杂。特别是超长距离大流量混凝土输水箱涵，出现的任何裂缝，不论是纵向的还是横向的、表层的还是贯通的、宽裂缝还是微裂缝，都是影响质量的关键，同时工程上也是不允许的。尤其是纵向裂缝的产生，将使箱涵的受力条件发生明显的变化，裂缝截面内受到渗透压力的作用，会显著增加箱涵的荷载，大大降低混凝土的抗渗性和耐久性，缩短箱涵的使用寿命。因此，水工输水箱涵混凝土浇筑强度、质量都必须进一步提高。

钢筋混凝土箱涵存在抗裂性能差，出现裂缝后不易修补等缺点，这也是目前国内外大量的钢筋混凝土箱涵处在长期带裂缝工作状态的一个重要原因。对于低水头、大流量、高埋深、多孔口、大孔径、薄壁型的混凝土输水箱涵工程而言，预防混凝土裂缝显得尤为重要。

2003 年以来，河北省水利工程局陆续承担了滹沱河倒虹吸、古运河暗涵、唐河、瀑河、孟良河倒虹吸、天津干线箱涵等工程项目的施工任务。其中南水北调中线天津干线工程保定市 1 段工程，就是采用的大孔口钢筋混凝土箱涵结构。其箱涵洞身为三孔一联的钢筋混凝土矩形箱涵结构，单孔过水断面尺寸为 4.4m×4.4m（宽×高）。洞身作为承受内水压力的偏心受压、受剪、偏心受拉等复杂受力的构件，施工中必须严格控制其裂缝的产生。

超长距离大流量混凝土输水箱涵产生裂缝的原因有多种，近年来国内外众多学者团体一直在进行长期不懈的分析研究，要想更好地解决超长距离大流量混凝土输水箱涵产生裂缝的问题，还需要工程技术人员和科研人员认真调研设计施工中的不同工况，采取切实可行的施工工法，充分分析产生裂缝的各种不利因素，总结超长距离大流量混凝土输水箱涵施工中的

关键技术，通过施工全过程集成管理，实现超长距离大流量混凝土输水箱涵施工质量的控制目标。

那么在超长距离大流量混凝土输水箱涵施工中，有哪些关键技术呢？经过认真总结，主要有以下几个方面：

(1) 超长距离大流量混凝土输水箱涵混凝土浇筑各个环节一体化连续施工控制管理。

(2) 结合不同工况进行混凝土结构内力应力计算，开展超长距离大流量箱涵混凝土裂缝防治措施及新技术研究。

(3) 对超长距离大流量输水箱涵施工的厂区布置进行优化。

(4) 对混凝土配合比进行优化，对混凝土入仓方式进行分析对比及优选。

(5) 提出箱涵墙体不同工法施工缝面混凝土的振捣工艺措施。

(6) 研究模板的高效重复利用及土基上箱涵模板支立技术措施。

为实现对超长距离大流量混凝土输水箱涵施工关键技术的集成管理和质量控制，采用有限元仿真模型，实现超长距离大流量混凝土输水箱涵施工中的混凝土温度裂缝的监测分析，优选出混凝土防裂方法及措施；通过超长距离大流量混凝土输水箱涵荷载分析、内力计算和SAP84 三维有限元分析，对混凝土箱涵结构裂缝展开研究，总结出裂缝防治的设计及施工相应措施；借助结构内力应力计算，实现钢模台车、混凝土浇筑、输水箱涵运行中的状态稳定。使用内、外模板台车和一体化连续施工系统并采用三维快速拉格朗日分析计算程序 FLAC3D 数值模拟软件，模拟混凝土材料的三维力学特性，进行箱涵施工方法的优化、仿真计算和工况合理性分析，研究混凝土箱涵不同龄期应力分布和位移（变形）分布，为施工工序优化和裂缝控制提供依据，并对施工工法提出推荐意见。

通过开展上述关键技术研究，提出指导解决超长距离大流量混凝土输水箱涵及类似输水工程施工的关键技术方法，确保南水北调中线等及类似输水箱涵工程施工，对有效保证相关工程建设和运行的安全、有效保证工程的耐久性、改善结构性能具有重大意义，对国民经济全局和中华民族的长远发展具有重大而深远的影响。

## 1.2 技术研究的主要内容

课题组依托河北省水利工程局近年承建的南水北调中线干线工程输水箱涵施工项目，应用超长距离大流量混凝土输水箱涵一体化施工工法技术、钢模台车及大模板施工技术，在承建的南水北调中线天津干线保定市 1 段工程施工中，展开深入研究，总结积累归纳成施工技术成果，用于指导同类工程的施工。

### 1.2.1 主要从以下方面展开研究

(1) 超长距离大流量混凝土输水箱涵混凝土浇筑各个环节一体化连续施工控制管理。

(2) 结合不同工况进行混凝土温度控制及裂缝防治措施研究。

(3) 混凝土应力计算及裂缝防治新技术研究。

(4) 混凝土钢模台车架立、混凝土浇筑和输水箱涵回填后等不同时期的结构稳定安全研究。

(5) 研究对比混凝土输水箱涵不同浇筑工法，从施工工艺、应力分布、变形控制等角度提出推荐意见。

- (6) 混凝土配合比优化研究, 研究对比不同入仓方式的优劣。
- (7) 对超长距离大流量输水箱涵施工的厂区布置提出优化意见。
- (8) 对模板的高效重复利用及土基上模板的支立提出改进措施。
- (9) 对箱涵关键部位振捣工艺开展研究并提出工艺措施。
- (10) 找出变化规律, 指导施工实践。

### 1.2.2 钢筋混凝土箱涵裂缝成因分析

钢筋混凝土箱涵的裂缝成因分析作为一项主要内容, 其产生裂缝的原因主要有如下几个方面:

- (1) 外荷载作用及箱涵的受力条件。
- (2) 混凝土本身的质量及体积变化。
- (3) 基础不均匀变形等。

混凝土体积变化主要是由收缩、温度变化及内部化学作用产生的。混凝土产生裂缝将存在如下危害: 一是破坏箱涵结构的整体性, 使承载能力降低; 二是降低工程的耐久性, 减少使用寿命; 三是造成渗漏。

本书针对钢筋混凝土箱涵可能产生裂缝问题从施工技术角度, 通过开展混凝土配合比的优选、混凝土温度控制、混凝土模板的支立、混凝土入仓和浇筑工艺、混凝土的养护和保温措施等的试验研究, 提出箱涵混凝土预防裂缝的、经济合理的施工技术方案。并借助数值模拟技术, 对箱涵三维有限元仿真计算、分析与评价, 提出相关结论和建议, 进一步指导工程施工。

## 1.3 国内外技术现状

### 1.3.1 国内文献

(1) 河北省水利工程局刘治峰带领科研技术人员开展箱涵施工技术的科技创新, 研制成功水工混凝土输水箱涵一体化施工技术工法。并在《水利建设与管理》2011, 31(10).19-22 中发表相关论文。将混凝土各个环节的分散施工形成一条具有现代化水平的混凝土流水作业生产线, 减少中间诸多不利环节, 将混凝土原材料供应, 混凝土拌制、运输、浇筑等环节有机结合, 组成一个整体系统, 克服了传统混凝土浇筑施工缺乏连续性的弊端, 避免了混凝土浇筑过程中易老化、坍落度损失、强度无保证等现象的发生, 减少了安全、质量隐患, 有效保证了浇筑强度和工程质量。工法同时结合应用实例进行效果分析, 经济效益和社会效益明显。

(2) 南水北调中线干线建设管理局王东来, 在《水利建设与管理》2012, (7).1-6 发表“三维有限元在南水北调输水箱涵工程超荷载工况下的应用”论文。文章采用三维有限元分析软件 ANSYS 对霸州北环公路涵进行结构分析计算, 研究了采取空间钢管支撑加固方案后箱涵结构的应力应变性态。

(3) 中国石化集团胜利石油管理局赵洪波, 在《中国石油和化工标准与质量》2012, 33(16).64, 82 发表“进海路箱涵结构行车动态响应仿真分析”论文。文章阐述了应用 ANSYS 软件结合参数化设计语言 APDL 编程建立了大港埕海油田四号进海路距离海岸 3800m 处实验

箱涵路段的有限元分析模型，施加车辆荷载进行了仿真模拟计算，得出了在两种车辆荷载下箱涵结构的应力分布及变形情况，为今后的箱涵结构维护及建设提供了重要的依据。

(4) 天津市水利勘测设计院孙羽，在《吉林水利》2010(5).13-16 发表“对‘南水北调中线一期工程天津干线西黑山进口闸至有压箱涵段’箱涵模板工程的研究与分析”论文。文章以其中的西黑山进口闸至有压箱涵段为例，阐述了箱涵混凝土模板的施工过程及其施工中需要注意的事项，并对箱涵典型断面的模板立模系数的计算方法进行了说明。

(5) 重庆交通学院岩土研究所王凯，在《地下空间》2001，21(5).519-525 撰写论文，针对重庆市排污沟埋式混凝土箱涵开裂事件，基于连续的现场调查与监测，通过有限元数值分析探讨了箱涵裂缝的形成机理，认为该事件发生的重要因素之一是箱涵地基的不均匀沉降变形。裂缝的分布规律与混凝土箱涵拉应力区的发育现状是吻合的。

(6) 天津市水利工程有限公司李树恩，在《中国科技博览》2011(31).169-170 发表“南水北调中线天津段混凝土施工质量控制”论文，文章针对南水北调中线天津 1 段 TJ5-1 标段在混凝土输水箱涵施工中建立项目质量管理体系，对原材料、施工设备、施工中几个环节质量管理作了简要介绍。

(7) 深圳东部供水工程建设指挥部刘洵，在《人民长江》1999，30(10).26-27 发表“深圳供水工程混凝土箱涵裂缝成因分析及处理”论文。深圳市东部供水工程采用现浇钢筋混凝土有压输水箱涵的结构形式，每节箱涵长 23m，分 I、II 期浇筑。首批浇筑的各节箱涵 II 期混凝土侧墙上均陆续发现了裂缝。95% 以上的裂缝在墙体两侧且位置对应，裂缝平均宽度约为 0.18mm，最大宽度达 0.36mm，两侧裂缝在墙内已贯通。经分析研究，形成裂缝的主要原因为：混凝土配合比设计不合理；混凝土生产与施工温控不利；混凝土散热、养护条件较差，模板选择欠妥。

(8) 天津市水利勘测设计院刘家凯，在《水利水电工程设计》2008，27(2).7-10 发表“引滦入津水源保护工程州河暗渠工程的纵断面布置及优化”论文，州河暗渠工程为大型输水工程，均采用埋地式混凝土箱涵结构，工程总体布置中的纵断面布置是体现设计特点的主要部分，较为详细地介绍了该布置优化设计中的制约条件、工程技术特点、优化设计步骤和优化设计中的关键点。

(9) 中国海洋大学环境科学与工程学院王淼，在《南水北调与水利科技》2009，7(6).211-215 发表“大型混凝土输水管涵浇筑质量 GPR 检测研究”，南水北调东线山东段穿黄河及小清河工程分别采用大型输水混凝土管道和箱涵形式。结构物浇筑质量采用具有无损检测能力的探地雷达方法（GPR）和超声波法进行检测。根据探地雷达（GPR）检测结果，分析了浇筑混凝土结构物中混凝土骨料集中、密实度不均；隐伏裂缝等缺陷及钢筋网分布状态的 GPR 图像典型异常特征。并基于 GPR 检测电磁波速和超声波速的对比，讨论了低含水率条件下 GPR 方法对混凝土强度的检测能力。

### 1.3.2 国外文献

(1) Ti: USA Tarhini, K.M, 在《Computing in Civil Engineering》1996，677-682 发表“Finite element analysis of precast concrete box culverts”论文，文章阐述到，为了取代劣化的短跨度桥梁和钻孔灌注桩箱涵，预制箱涵已经成为经济的替代品。这些预制结构包括钢筋混凝土拱、四面和三面型钢筋混凝土箱涵和金属涵。最常用的类型是预制钢筋混凝土涵，这是由于其具

有耐久性、最少的现场施工时间和较低的成本。本文把有限元分析结果与实验数据进行了对比。它还将有助于结构工程师模拟和预测任何规模混凝土涵的实际强度和性能，这些混凝土涵受制于复杂边界条件。

(2) USA Duncan, J.M., 在《Transportation Research Record》1985, 33-41 发表题为“Design of corrugated metal box culverts”的论文。文章将波纹金属箱涵为垂直间隙有限的输水提供大的横断面积。因为它们有近乎平坦的冠部以及与高度相比较大的宽度，它们的性能不同于传统金属涵洞，其设计也需要不同的方法。提出的设计过程是基于实地经验、有限元分析和用仪表进行的箱涵负载测试。这个过程包括由于回填和交通负荷的冠部和腰部弯矩、针对覆盖深度严重受限条件下硅酸盐水泥混凝土卸荷板的设计，用于设计的建议负载因素以及在使用中的挠度。

(3) China Huang, Sheng-Gen, 在《Rock and Soil Mechanics》2009, 30(2). 387-392 发表题为“Research on soil displacement regulations with jacking method for super-large shallow-buried box culvert”的论文。文章阐述到，郑州市下穿北京—珠海高速公路立交工程是目前亚洲在软土地层中施工的横截面最大的管棚内箱涵顶进工程，如何控制地层位移以及保证公路的安全，是设计和施工中必须考虑的主要问题。对现场的实测数据进行了分析，并应用连续快速拉格朗日分析 (FLAC) 数值方法对顶进过程中引起的地层位移进行模拟计算。现场监测和数值模拟结果对比表明，两者基本接近。总结出的地层移动规律：①路面发生最大沉降的位置不在轴线处，而是在箱涵跨度的一半处；②最大的水平位移出现在与箱涵中心同一标高掌子面正前方的土体中。管棚复合体的水平位移与路面大致相当，基底的水平位移略小；③孔隙水压力对箱涵顶进引起的周围土层的扰动更为灵敏。

(4) USA Johnson, Kevin R, 在《Proceedings of the 2006 Pipeline Division Specialty Conference - Pipelines》2006, 27 发表题为“A 72-inch water pipeline through a developed neighborhood: A design and construction challenge - Allen/Plano/Frisco/McKinney project 72-inch pipeline”的论文，论述了管道路线选择过程中使用的方法以及与在高度城镇化的区域内建造大直径管道有关的设计和施工问题，该管道位于两条主要公路之下，是在全长 1250 英尺的 90 英寸隧道内施工。

(5) USA White, David J., 在《Geotechnical Special Publication》2004, 1566-1573 发表题为“Settlement monitoring of large box culvert supported by rammed aggregate piers-A case history”的论文，文章论述了建造在劣化桥梁下方的大型箱涵部位的地下条件由高度可压缩的冲积粘土组成。当估计的沉降超过 10 厘米小于 50 厘米时，选择在箱涵下方安装夯扩碎石桩，以控制不均匀沉降和防止现有桥桩基础上出现的下曳力。

(6) China, Zhu, Ping, 在 Proceedings of the 2012 International Conference on Civil Engineering and Urban Planning 上发表题为“Study on optimal design of a box-culvert under road”的讲话，提出了一种道路下过水涵洞的优化设计方法，使过水涵洞结构的侧壁、基底和顶板厚度结合起来。在其模拟施工期间，利用最高和最低水位杠杆进行了过水涵洞结构及其基础的应力和变形的有限元方法分析。

(7) China, Fu, Yanan, 在《Applied Mechanics and Materials》2012, 217-219.161-164 发表题为“Concrete crack control technology in chongqing inch container terminal box letter of application in engineering”的文章，介绍了混凝土裂缝的主要原因，并且拿重庆寸滩保税港货运集装箱码头储油槽箱涵混凝土裂缝控制作为工程实例，分析了裂缝控制的方法。

### 1.3.3 总述

总体而言，混凝土施工的常规设备大都离不开搅拌机、混凝土运输车、吊车、塔吊吊罐等。但这些设备的单一运行很难形成一体化连续施工体系，同时还存在施工占地较多、场面零乱，混凝土浇筑强度低、易形成施工冷缝，临时设施投资大，受天气影响较大、施工工期及施工安全不易得到保障，混凝土强度的提高受各个环节的制约等问题。

目前有两种解决办法：一是从国外引进塔（胎）带机等较新型的混凝土运输浇筑系统；二是利用现有设备，辅之研究制作部分设备，形成满足施工需求的系统装置。

从国外引进先进的混凝土施工系统，从时间和实用性上得不到保证，且投资巨大，其昂贵的价格往往与主体工程投资不匹配；自行研制配套系统，利用现有设备，实现省时、务实、节省资金，而且能够实现优质高效完成超长距离大流量混凝土输水箱涵施工任务。

除此之外，通过分类检索，国内有关设计部门对箱涵典型断面的模板立模系数的计算方法及模板的施工过程、混凝土箱涵开裂与监测、箱涵裂缝的成因展开研究和探讨，并实现计算机辅助结构设计和参数验算。

方法种种，可见国内、外均把混凝土结构裂缝问题作为一项重大关键技术来研究，这在不同程度上为推动箱涵施工质量的提高和安全运行起到了重要作用。但都没有系统地实现箱涵施工技术的集成。

## 1.4 技术路线

(1) 围绕南水北调中线天津干线工程保定市 1 段，从施工工艺流程及施工分层、施工机械的配备、混凝土配合比、混凝土入仓及振捣方式、模板及组合支立方式等不同工况、不同施工条件开展温控防裂研究，提出常见缺陷预防及处理措施，提出保证箱涵混凝土质量的管理和技术措施。

(2) 采用优选法寻找最佳施工方案，建立箱涵混凝土三维有限元仿真模型，展开分析并对施工期防止混凝土开裂展开研究。

(3) 结合保定市 1 段箱涵工程特点，采用有限元子模型数值仿真计算方法，对夏季和秋季进行多工况、多方案典型混凝土结构三维计算模型的施工期混凝土温度场和应力场的数值仿真计算分析，并进行施工期混凝土温度和自生变形的监测与分析，提出针对各典型结构个性化的指导现场施工和控制混凝土浇筑质量的意见和建议。

(4) 结合天津干线工程特点，对混凝土输水箱涵施工阶段的钢模台车架立过程、混凝土浇筑过程及输水箱涵回填后的强度和稳定状态进行简化计算及分析验算。校核混凝土输水箱涵不同施工阶段的结构稳定和安全。

(5) 优化总结，提出成果。

## 1.5 南水北调中线天津干线工程简介

### 1.5.1 保定市 1 段工程

南水北调中线天津干线全长 155.352km，共分为 6 个设计单元。保定市 1 段工程是天津干

线工程中的第2设计单元。工程起点位于保定市徐水县丁家庄村西，终点位于大清河左岸雄县辛许庄村东，沿线经过河北省的徐水县、容城县、高碑店市、雄县等县（市）。起点桩号为XW15+200，终点桩号为XW60+842，全长45.680km。全线采用有压钢筋混凝土箱涵输水方案。天津干线保定市1段工程设计是在天津干线总体布置基础上进行的，水力计算依照总体要求要求进行。设计输水流量 $50\text{m}^3/\text{s}$ ，加大输水流量 $60\text{m}^3/\text{s}$ ，向河北省总分水流量 $2.7\text{m}^3/\text{s}$ 。建筑物设计则依据本段水文、地质等因素进行设计，并结合其他施工段共同对总体布置有关内容进行复核。工程位于广阔的河北冲积平原，地面高程由22m降至12m左右，平均坡降0.2‰，局部受河流影响稍有变化。除主体建筑物现浇混凝土输水箱涵外，设计的其他建筑物共有81座，分别为：检修闸1座，保水堰井3座，通气孔22座，分水口门3座，河渠交叉倒虹吸13座，灌渠交叉倒虹吸3座，铁路交叉建筑物1座，公路交叉建筑物35座，各类建筑物管理站进出通道公路共3587m。

其中，保定市1段共分为5个土建标，为TJ2-1~5标，另外，天津干线第1~4设计单元还统一划分出1个电气设备采购标、1个金属结构制造标和1个安全监测仪器采购安装标。保定市1段典型箱涵断面见图1-1。

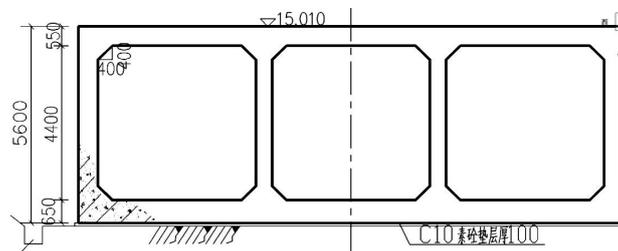


图1-1 箱涵典型断面结构

## 1.5.2 保定市1段施工五标

### 1. 工程简介

南水北调中线天津干线保定市1段施工五标设计桩号51+838~60+842，全长9.004km，设计输水流量 $50\text{m}^3/\text{s}$ ，加大输水流量 $60\text{m}^3/\text{s}$ 。有压输水钢筋混凝土箱涵长6.87km，混凝土技术要求C30W6F150（设计强度等级C30，抗渗等级W6，抗冻等级F150），现浇混凝土结构，断面为3（孔） $\times$ 4.4（m） $\times$ 4.4（m），每节平面尺寸15.2（m） $\times$ 15（m）（宽 $\times$ 长），箱涵埋深3m左右，梯形开挖断面。混凝土方量28万 $\text{m}^3$ 。单节长度15m，单节混凝土420 $\text{m}^3$ ，钢筋40t，配筋率95.24 $\text{kg}/\text{m}^3$ 。主要工程量：土方工程447.348万 $\text{m}^3$ ，混凝土28.572万 $\text{m}^3$ ，钢筋制安2.665万t。

该段以现浇混凝土箱涵为主，为有压输水箱涵，其他主要建筑物包括：通气孔、分水口、倒虹吸、公路涵、保水堰及通信系统的硅芯管采购和埋设。

安全监测仪器的采购与安装单独分标，需要本标段予以配合。金属结构安装和部分电气设备的采购单独分标，安装则纳入本土建标。

主要建筑物特性：

- 1) 有压输水钢筋混凝土箱涵，共长6.87km，为3孔4.4m $\times$ 4.4m钢筋混凝土箱涵。
- 2) 通气孔，5座，为3孔井式结构。

3) 河渠交叉建筑物共 3 座, 其中大型倒虹吸 2 座, 为兰沟河倒虹吸、大清河倒虹吸, 布置和结构型式与箱涵相同。

4) 兰沟河西保水堰 (4#), 1 座。

5) 公路交叉建筑物为公路涵, 共 8 座, 其中津保公路涵 (北副)、津保高速白沟连接线公路涵为大型公路涵, 其他 6 座为小型公路涵。

6) 分水口 1 座, 为高碑店市白沟分水口。

7) 本工程还布置有安全监测仪器约 272 支及 4 座监测站, 以及自动化调度信息管理决策系统光缆护管的埋设。

## 2. 水文气象条件

### (1) 流域概况

本标段位于河北省保定市境内, 与本标段交叉的河渠 2 条, 为大清河与兰沟河, 集水面积均大于  $20\text{km}^2$ 。大清河西起太行山, 东至渤海湾, 位于永定河系与子牙河系之间, 分南北两支, 南拒马河和白沟河在白沟镇附近汇合后称大清河 (北支), 天津干线与大清河 (北支) 交叉断面位于原白沟水文站与新盖房分洪道之间, 交叉处河道主要承泄大清河北支洪水。兰沟河为大清河蓄滞洪区兰沟洼内的一条排水河道。交叉河渠特征值见表 1-1。老李村八九支渠为灌排渠道。

表 1-1 交叉河渠特征值表

| 序号 | 河渠名称 | 桩号     | 交叉地点    | 流域面积<br>( $\text{km}^2$ ) | 主河道长度<br>(km) | 河道坡度<br>(%) |
|----|------|--------|---------|---------------------------|---------------|-------------|
| 1  | 兰沟河  | 44+205 | 王家营南    | 697                       | 18.3          | 0.460       |
| 2  | 大清河  | 57+075 | 容城县东李家北 | 10154                     | -             | -           |

### (2) 气象

工程区属温带大陆性季风气候区, 冬季受极地大陆性气团控制, 气候寒冷干燥, 雨雪稀少; 春季受大陆变性气团的影响, 气温增高, 蒸发量大, 多风, 降雨少; 夏季太平洋副热带高压加强, 热带海洋气团与极地大陆气团在本区域交汇, 气候湿润, 降雨量多; 秋季东南季风减退, 极地大陆气团增强, 天高气爽, 降雨量减少。

本标段气象资料选用容城气象站气象资料 (见表 1-2)。

本标段平均气温  $12.3^{\circ}\text{C}$ 。1~2 月份气温最低, 1 月份平均  $-4.3^{\circ}\text{C}$ , 极端最低  $-21.1^{\circ}\text{C}$ 。7 月份气温最高, 月平均  $26.5^{\circ}\text{C}$ , 极端最高  $41.2^{\circ}\text{C}$ 。

多年平均降水量  $507.3\text{mm}$ 。降水量年内分配不均匀, 6、7、8、9 四个月降水量占全年降水总量的 80%以上, 降水量年际变化也很大。

标段多年平均风速为  $1.7\text{m/s}$ , 最大风速为  $22\text{m/s}$ 。

据容城气象站多年实测资料显示, 冬季地面最大冻结深度  $0.97\text{m}$ 。地面稳定冻结日期最早为 10 月 22 日, 最晚为 12 月 5 日; 开始解冻日期最早为 2 月 26 日, 最晚为 3 月 26 日。工程区冻土类型属季节性冻土。多年平均无霜期 190 天。见表 1-3 和表 1-4。

### (3) 施工设计洪水。

按照施工组织设计的要求, 一般河流的施工洪水的分期为非汛期 10 月~次年 5 月。

根据《南水北调中线一期工程总干渠初步设计水文分析计算技术规定 (试行)》

(NSBD-ZGJ-1-4)的有关规定,施工洪水的频率为5%、10%、20%。

表 1-2 容城气象站多年各月统计值表

| 项目          | 月          | 1     | 2     | 3     | 4    | 5    | 6     | 7     | 8     | 9     | 10   | 11    | 12    | 年     |
|-------------|------------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
|             | 平均降水量 (mm) |       | 2.1   | 4.5   | 7.8  | 19.1 | 32.6  | 69.0  | 163.6 | 131.5 | 38.8 | 25.2  | 10.7  | 2.4   |
| 平均降水日数 (天)  |            | 1.6   | 1.8   | 3.0   | 4.2  | 5.5  | 7.7   | 12.7  | 10.8  | 6.8   | 4.9  | 3.7   | 1.6   | 64.3  |
| 日最大降水量 (mm) |            | 8.4   | 15.7  | 32.1  | 43.4 | 44.2 | 120.4 | 111.4 | 125.5 | 65.5  | 68.0 | 25.6  | 18.7  | 125.5 |
| 极端最高气温 (°C) |            | 14.1  | 20.5  | 26.0  | 33.6 | 37.8 | 40.9  | 41.2  | 36.9  | 35.1  | 30.2 | 23.0  | 14.4  | 41.2  |
| 极端最低气温 (°C) |            | -21.1 | -18.1 | -12.3 | -4.0 | 4.3  | 7.8   | 16.6  | 11.7  | 5.1   | -3.7 | -12.3 | -19.6 | -21.1 |
| 平均气温 (°C)   |            | -4.3  | -1.0  | 5.9   | 14.3 | 20.1 | 25.0  | 26.5  | 25.1  | 20.2  | 13.2 | 4.4   | -2.2  | 12.3  |
| 平均风速 (m/s)  |            | 1.4   | 1.8   | 2.2   | 2.5  | 2.2  | 2.0   | 1.7   | 1.3   | 1.3   | 1.4  | 1.5   | 1.3   | 1.7   |
| 最大风速 (m/s)  |            | 13.0  | 17.0  | 16.0  | 17.0 | 20.0 | 16.0  | 22.0  | 12.0  | 12.0  | 17.0 | 13.0  | 15.0  | 22.0  |

表 1-3 地面稳定冻结日期、开始解冻日期

| 站名 | 稳定冻结日期 |       | 开始解冻日期 |       | 最大冻土深度(m) |
|----|--------|-------|--------|-------|-----------|
|    | 最早     | 最晚    | 最早     | 最晚    |           |
| 容城 | 10月22日 | 12月5日 | 2月26日  | 3月26日 | 0.97      |

表 1-4 霜冻初、终日期及无霜期

| 站名 | 初日    |        | 终日   |       | 多年平均无霜期<br>(天) |
|----|-------|--------|------|-------|----------------|
|    | 最早    | 最晚     | 最早   | 最晚    |                |
| 容城 | 10月5日 | 10月30日 | 3月5日 | 4月27日 | 190            |

大清河交叉断面施工设计洪水采用白沟水文站实测流量资料,按 P-III型频率曲线分析,施工洪水成果见表 1-5。

表 1-5 非汛期(10月~次年5月)交叉河渠施工洪水

| 序号 | 河名  | 流域面积<br>(km <sup>2</sup> ) | 单位                     | 不同频率施工洪水 |       |       |
|----|-----|----------------------------|------------------------|----------|-------|-------|
|    |     |                            |                        | 5%       | 10%   | 20%   |
| 1  | 兰沟河 | 697                        | 流量 (m <sup>3</sup> /s) | 23.3     | 11.9  | 1.46  |
| 2  | 大清河 | 10154                      | 流量 (m <sup>3</sup> /s) | 202      | 144   | 90.3  |
|    |     |                            | 水位 (m)                 | 11.50    | 11.13 | 10.51 |

### 3. 工程地质条件

#### (1) 地形地貌

TJ2-5 标段位于广阔的河北冲积平原当中。地面高程 11.4~12.6m。地形平缓。其间分布有行洪排涝河渠、灌渠共有 3 条。

## (2) 地层岩性 (见表 1-6)

本标段分布的地层均为第四系松散堆积物, 由老至新简述如下:

1) 全新统下段 ( $Q_4^1$ )

冲积 ( $alQ_4^1$ ) 堆积: 勘探深度范围内以浅黄、桔黄色壤土为主, 局部分布砂壤土透镜体, 含钙质结核, 地层顶板埋深一般 10.0~17.0m, 该层普遍分布。

2) 全新统中段 ( $Q_4^2$ )

①冲积 ( $alQ_4^2$ ) 堆积: 上部以灰黄色、黄灰色壤土为主, 局部夹砂壤土、粘土透镜体, 含锈斑, 局部含钙质结核, 下部出现较连续砂层, 砂层厚度一般 3.0~5.0m。该层厚度一般 8.0~12.0m。顶板埋深一般 2.5~5.0m, 该层分布连续稳定, 下伏  $Q_4^1$  冲积层。

②湖沼 ( $1+hQ_4^2$ ) 堆积: 以灰黑色、灰绿色、灰黄色等杂色粘土为主, 含锈斑及有机质, 可见小的平卷螺和尖脐螺。一般层厚 0.5~2.0m。该层主要分布桩号为: XW52+672~XW56+050、XW58+330~XW58+860、XW59+520~XW59+760、XW60+400~XW60+842。

3) 全新统上段 ( $Q_4^3$ )

①冲积 ( $alQ_4^3$ ) 堆积: 岩性以黄褐色、灰黄色砂壤土、壤土为主, 底部有时出现砂层。该层厚度一般 2.0~5.0m, 该层普遍分布。

②人工堆积 ( $rQ$ ): 岩性以壤土、砂壤土为主, 夹少量粘土。主要分布于河流及人工渠道两侧堤岸。

表 1-6 各土层渗透系数及渗透性分级表

| 时代成因       | 土层名称 | 渗透系数 (k)              |       | 渗透性等级 | 时代成因      | 土层名称 | 渗透系数 (k)              |       | 渗透性等级 |
|------------|------|-----------------------|-------|-------|-----------|------|-----------------------|-------|-------|
|            |      | cm/s                  | m/d   |       |           |      | cm/s                  | m/d   |       |
| $alQ_4^3$  | 砂土   | $5.87 \times 10^{-4}$ | 0.51  | 中等透水  | $alQ_4^2$ | 壤土   | $4.52 \times 10^{-5}$ | 0.04  | 弱透水   |
|            | 壤土   | $3.73 \times 10^{-4}$ | 0.32  | 中等透水  |           | 砂壤土  | $5.29 \times 10^{-5}$ | 0.05  | 弱透水   |
|            | 粉砂   | $2.45 \times 10^{-4}$ | 0.21  | 中等透水  |           | 粘土   | $3.5 \times 10^{-5}$  | 0.03  | 弱透水   |
|            | 细砂   | $4.12 \times 10^{-3}$ | 3.56  | 中等透水  |           | 粉砂   | $7.67 \times 10^{-4}$ | 0.66  | 中等透水  |
| $1+hQ_4^2$ | 粘土   | $2.83 \times 10^{-5}$ | 0.024 | 弱透水   |           | 细砂   | $1.62 \times 10^{-3}$ | 1.41  | 中等透水  |
|            |      |                       |       |       |           | 中砂   | $1.24 \times 10^{-2}$ | 10.71 | 强透水   |

注: 表格内渗透系数值 (k) 是室内与室外 (试坑渗水试验、钻孔注水试验) 渗透系数的平均值。

## (3) 地质构造

标段地震动峰值加速度 0.10g, 相应地震基本烈度 VII 度。地震动反应谱特征周期 0.40s。

## (4) 水文地质

①地下水类型及分布。根据地质勘探及水文地质调查, 标段工程区地下水为第四系孔隙潜水, 主要赋存于第四系全新统砂性土地层中。地下水埋深受地形地貌、人工开采及地表水体控制, 地下水流向趋势为由北西向南东。

②地下水的动态特征。根据调查资料, 工程区地下水位的年内变化受年降水量、蒸发量、地表水径流量的共同影响, 水位变幅平均值为 1.9m。

③含水层的渗透性分级。本标段各土层, 大多为弱至中等透水土体, 透水能力较差。详

见表 1-6。

④地下水位与箱涵底板埋深的关系。标段地下水位高于箱涵底板。

⑤环境水化学特征与腐蚀性。地下水化学类型以重碳酸钙镁型水为主，PH 值 7.2~8.01，属中性至弱碱性水；水的矿化度一般 0.35~0.60g/L，属淡水。

根据水质分析成果，依据《水利水电工程地质勘察规范》(GB50287-99)中关于环境水腐蚀性判别标准，标段浅层地下水对混凝土(普通水泥)无腐蚀性。

⑥施工及生活用水。标段含水层岩性主要为砾石、粗砂和中砂。适宜二段成井，含水层底界深度 100~150m，含水层累计厚度 50~75m，单井出水量 80~150m<sup>3</sup>/小时。

#### 4. 对外交通条件

工程处于平原地区，该地区经济较发达，铁路、公路交通便利。工程区主要公路有津保公路，基本平行工程线路，因此津保公路可作为本工程段的主要对外运输公路。

标段可利用津保公路和津保高速白沟连接线两条国道，同时改建津保公路—辛庄乡村沥青道路作为施工道路使用。

#### 5. 主要施工方法

保定市 1 段施工五标箱涵底板厚度为 60~65cm，采用阶梯式浇筑方式，层铺料厚度 30cm，梯级宽约 2.5m；箱涵墙体厚度为 45~55cm，采用分层布料浇筑，按阶梯方式上升，控制浇筑速度，分层厚度为 30cm；顶板厚度为 55cm，混凝土浇筑采用分层阶梯浇筑，分层厚度为 30cm。混凝土浇筑时上升速度按 50cm/h 控制，层间间隔时间按不大于 2h 控制，人工平仓为主。50 型电动软轴插入式振捣棒振捣配合 76 型风动振捣器振捣。混凝土养护的早期在混凝土表面及时遮盖草袋。在混凝土浇筑完毕后适宜时间进行洒水养护，表面覆盖塑料薄膜、草帘等保湿。

模板工程：输水箱涵内模和顶模采用钢模台车；箱涵八字采用定型模板；其他部位采用组装大模板。

混凝土浇筑入仓：采用混凝土一体化连续施工工法技术，实现混凝土拌制、运输、入仓的一体化。