

CHANGJULI SHUSHUI GONGCHENG
YINGYONG JISHU YANJIU

长距离输水工程 应用技术研究

◎ 杜培文 编著



黄河水利出版社

长距离输水工程应用 技术研究

杜培文 编著

黄河水利出版社

• 郑 州 •

内 容 提 要

本书内容包括长距离输水工程总体布置与优化、绿色技术和安全保障三大方面关键技术。以大量篇幅介绍了作者在总体布置与优化方法、绿色设计原则和评价方法、绿色分层取水和一体化管道水压试验装置、输水系统安全保障体系及生命周期安全评价等工程设计方面的最新研究成果,结合工程实际对输水系统过渡过程分析、调度运行方案编制、梯级泵站流量匹配等技术进行了深入研究。

本书可供水利及相关专业科研和技术人员使用,亦可作为高校相应专业的高年级学生和研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

长距离输水工程应用技术研究/杜培文编著. —郑州:
黄河水利出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-5509-1664-7

I. ①长… II. ①杜… III. ①长距离-输水-水利工程-
研究 IV. ①TV672

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 319470 号

策划编辑:贾会珍 电话:0371-66028027 E-mail:110885539@qq.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbbs@126.com

承印单位:郑州龙洋印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:16

字数:390 千字

印数:1—1 000

版次:2016 年 12 月第 1 版

印次:2016 年 12 月第 1 次印刷

定价:45.00 元

前 言

水是生命之源、生产之要、生态之基,水土资源、人口分布和经济发展极不均衡,人多水少、水资源时空分布不均是我国的基本国情、水情。随着经济社会的不断发展、工业化水平的不断提高和城镇化进程的加快,城市用水、工业用水快速增长,我国广大北方地区,尤其是山东半岛、黄淮海平原等经济发达和城市集群地区资源型缺水严重,水资源供需矛盾更加突出,水资源已成为制约当地经济、社会和环境协调发展的重要因素,长距离、跨流域调水是解决城市、工业资源型缺水或水质型缺水问题的重要途径和措施。

我国幅员辽阔,地形地貌和地质条件多样,长距离输水工程涉及的关键技术更多、难度也更大,是复杂的系统工程。优化工程总体布置、建设绿色输水工程、保障输水安全、推动区域协调可持续发展,是该类工程建设的需要,更是设计者牢固树立“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念的要求。

本书共分为3篇11章,主要阐述了长距离输水系统优化、绿色技术及安全保障三大关键技术的研究与应用,书中以大量篇幅介绍了作者在长距离输水系统总体布置优化方法、管材经济技术量化方法、绿色设计原则和评价方法、绿色分层取水及管道水压试验装置、安全保障体系、生命周期安全评价等工程设计方面的最新研究成果;并以山东省胶东地区引黄调水工程为依托,对输水系统优化设计、过渡过程分析、调度运行方案编制、梯级泵站流量匹配等技术进行了深入研究与实践。在追求创新性和实用性的同时,注重现行国家相关标准、规范、规程的准绳作用和推广,反映了相关学科的技术成果、应用基础性内容和工程设计经验,便于读者实际运用。

本书由杜培文、樊红刚、许志刚、郭绍春共同编写,并由杜培文负责全书统稿,具体分工如下:杜培文编写第1篇第1~3章(除第3章3.5.3.2部分外)、第2篇第1~3章、第3篇第1~2章;樊红刚编写第3篇第3章;许志刚编写第3篇第4章;郭绍春编写第3篇第5章、第1篇第3章3.5.3.2部分。

本书中引用不少由山东省水利勘测设计院编制完成的“山东省胶东地区引黄调水工程可行性研究、初步设计、施工图设计和调度运行方案”资料和数据,在此对设计项目组成员表示感谢! 水工机械设计室岳永起、祝凤山、王晶、刘天政、王金华、李孟、王强、张力友、李鹏飞、曹兰兰等对本书的编写给予了帮助,在此也一并致谢!

山东省水利勘测设计院党委书记刘绍清对本书的出版给予了大力支持和帮助,在此深致谢忱!

由于时间仓促,加之作者水平有限,书中疏漏之处在所难免,诚恳欢迎读者批评指正。

作 者

2016年10月

目 录

第 1 篇 总体布置与优化

第 1 章 总体布置	(3)
1.1 概 述	(3)
1.2 线路选择	(3)
1.3 输水方式	(4)
1.4 水力计算	(5)
第 2 章 管材选择	(6)
2.1 管材选用原则	(6)
2.2 管材特性	(6)
2.3 管材选择方法	(8)
第 3 章 总体设计与优化	(13)
3.1 总体优化目标	(13)
3.2 总体优化设计内容	(13)
3.3 总体设计与优化方法	(13)
3.4 优化数学模型的建立与求解	(15)
3.5 工程应用	(16)

第 2 篇 绿色技术

第 1 章 绿色设计	(29)
1.1 绿色设计及其特点	(29)
1.2 长距离输水工程绿色设计原则与方法	(30)
第 2 章 绿调度水工程评价方法	(34)
2.1 评价基本条件	(34)
2.2 评价与等级划分	(34)
2.3 节水与水资源利用	(35)
2.4 安全保障	(36)
2.5 节约能源	(37)
2.6 节地移民	(40)
2.7 材料利用	(40)

2.8	环境保护与生态修复	(41)
2.9	工程施工	(43)
2.10	运行管理	(44)
2.11	提高创新	(45)
第3章	输水工程绿色技术研究	(46)
3.1	节能技术研究	(46)
3.2	绿色水压试验技术与装置	(53)
3.3	绿色分层取水系统与装置	(58)

第3篇 安全保障

第1章	安全保障原则和目标	(67)
1.1	风险与安全	(67)
1.2	安全保障原则和目标	(67)
第2章	安全保障技术研究	(69)
2.1	安全防护概述	(69)
2.2	水锤防护设施及设备	(70)
2.3	水锤防护设备瞬态仿真模拟算例	(81)
2.4	长距离输水系统安全保障体系	(89)
第3章	长距离输水系统水力过渡过程分析	(112)
3.1	概 述	(112)
3.2	数学模型	(113)
3.3	工程应用计算结果及分析	(130)
第4章	输水系统安全调度运行方案	(197)
4.1	方案编制的必要性	(197)
4.2	目标和效果	(197)
4.3	方案编制步骤和内容	(198)
4.4	输水系统调度运行方案实例	(200)
第5章	长距离压力输水系统梯级泵站流量匹配	(231)
5.1	设备选型及水泵运行工况分析	(231)
5.2	梯级泵站水泵运行调节技术	(238)
5.3	梯级泵站水泵运行控制	(242)
参考文献		(249)

第1章 总体布置

1.1 概 述

第1篇 总体布置与优化

工程总体布置是指工程布置方案中主要建筑物、设施、设备等在工程范围内的空间位置、相互关系、尺寸、形状、结构、材料、施工方法、运行方式、维护管理、安全防护等方面的综合设计。工程总体布置是工程设计的核心内容，也是工程实施的关键环节。工程总体布置应遵循以下原则：(1) 满足工程功能要求；(2) 符合工程规范标准；(3) 考虑工程安全；(4) 兼顾工程美观；(5) 节约工程投资；(6) 方便工程运行；(7) 便于工程维护；(8) 保障工程安全；(9) 符合工程环保要求；(10) 满足工程其他相关要求。

工程总体布置应从经济、技术、环境、安全等方面综合考虑，做到布局合理、设施齐全、运行可靠、维护方便、安全防护到位。工程总体布置方案应经过充分论证和审批，并在工程实施过程中严格执行。

1.2 线路选择

线路选择是指根据工程需要，在工程范围内选择最优线路的过程。线路选择应遵循以下原则：

- (1) 线路走向应避开障碍物、设施、设备等，确保安全、可靠、美观。
- (2) 线路长度应尽量短，以减少线路损耗和运行成本。
- (3) 线路走向应尽量避开敏感区域，如居民区、学校、医院等，以减少对周边环境的影响。
- (4) 线路走向应尽量避开地下管线、电缆、光缆等，以避免对地下设施的破坏。
- (5) 线路走向应尽量避开高压线、变电站等，以确保线路的安全运行。
- (6) 线路走向应尽量避开交通繁忙区域，以减少对交通的影响。
- (7) 线路走向应尽量避开污染源，以减少对环境的污染。
- (8) 线路走向应尽量避开地质灾害易发区，以确保线路的安全运行。
- (9) 线路走向应尽量避开其他工程设施，以避免相互干扰。
- (10) 线路走向应尽量符合工程规划要求，确保工程的整体性和协调性。

第1章 总体布置

1.1 概 述

长距离输水工程是解决我国北方地区资源性或水质性缺水问题的重要途径和工程措施,目前国内长距离输水工程的主要任务包括城市供水、工业供水、农业灌溉和生态补水等。工程总体布置应结合受水区水资源配置方案拟定,从社会、技术、经济、环境、迁占等多方面进行比选。线路的总体布置和走向选择要充分考虑地形地质条件、建筑物型式,根据水源点和受水区的分布位置,初步选择可能的多条输水线路;分别对各线路的全线压力线、控制点水位或压力及总体控制指标进行分析研究;结合输水方式、地形、工程地质、施工、交通运输等条件,根据技术上的需要和条件的可能,经多方案综合经济技术比较后选择。

工程总体布置还应从经济、节能、降低工程技术难度等方面,考虑工程与受水区供水系统的衔接方式。尽量采取重力流输水方式,优先利用输水线路附近的水库调蓄,特别是工程末端的调蓄水库。

1.2 线路选择

输水线路的选择是多方案比较的前提,是确定最优线路的基础,应遵循以下原则:

(1) 线路走向应根据输水方式、地形、工程地质、交通运输等条件,经多方案比较后选择;尽可能利用地形条件,首先选用重力流输水方案完成输水任务。

(2) 线路力求短而顺直,以减少线路长度和避免转弯过多增加水力损失;尽量避免经过地形起伏过大地区,尽量减少泵站数量。

(3) 为便于施工和管理,输水线路尽可能沿已建道路的边侧敷设,尽量避免通过城市工业区、开发区和村庄,减少拆迁,少占农田和不占良田。

(4) 为保证安全运行,便于维护,输水管道线路选择应尽量避免与各种障碍物和不良基础地段的交叉,原则上从较远处以较小的偏角绕过。

(5) 为防止土壤对输水管线的腐蚀,管线应避免穿过腐蚀性大、导电率较高的地段。

(6) 长距离输水线路通过矿区时,需要调查地下矿藏的分布和开采情况,通过相关部门的压矿评价。对采空区和塌方区不设永久性输水管线。

(7) 长距离输水选线,还应考虑开挖与回填的土方量平衡,避免远距离运送土方,在岩石地区施工时,要考虑到沿线就近取土回填的可能。

(8) 山丘区长距离输水管线在岩石地区选线时,考虑到管沟需要爆破施工,其线路必须保证与附近高压供电线、铁路、高速公路或居民区有一定的安全距离。

1.3 输水方式

输水方式的选择是长距离输水工程系统总体优化的重要内容,应以保证输水水质和水量安全为主要条件,兼顾运行调度管理、工程造价和运行费用等技术经济因素,通过多方案比较确定。长距离调水输水方式包括无压重力输水、有压重力输水、加压输水、重力和加压组合输水等几种。

1.3.1 无压重力输水

大型长距离调水工程无压重力输水常采用明渠、暗渠和非满管的管道输水。当输水地形高差足够、地形适宜且输送水量较大时,可采用明渠输水方式。当输水量较小时,不宜采用明渠输水方式。但对于山丘区输水工程因地形复杂等因素,采用明渠输水往往出现高填方与深挖方,既不经济也不安全;明渠输水方式线路还要尽量避开容易造成水质污染的河道和地区;明渠输水方式存在永久占地多,对当地灌排系统影响较大,蒸发、渗漏损失大,水质不易保证,工程管理难度大,冬季输水等诸多问题。因此,长距离调水工程在地形高差足够时可采用无压重力暗渠输水方式,其构造形式有明渠加盖板、箱涵或圆管三种。渡槽属无压重力输水形式,通常作为明渠输水工程的跨越工程。隧洞作为穿越工程,可进行无压重力输水和有压重力输水。

1.3.2 有压重力输水

大型长距离输水往往需要消耗大量的电能,经常运转费用高。有压重力流输水具备了节约能源的优点。因此,当有足够的可利用输水地形高差时,优先选择有压重力输水方式。选择重力输水时,如果充分利用地形高差,使输送设计流量时所用管径最小,可获得最佳经济效益。管道和隧洞均可实现有压重力输水。利用隧洞进行有压重力流输水,与明流输水隧洞相比,压力洞可以最大限度地利用水头,减小过水断面;运行上,正常引水期压力洞操作简单,流量随上游压力自动调节。

1.3.3 加压输水

大型长距离输水工程地势起伏大、地形复杂、线路长,当没有可利用的输水地形高差时,根据地形高差、管线长度、管材的承压能力及设备动力情况,沿管线设置不同数量的中途加压泵站,选用水泵加压输水方式。

在长距离压力流输水设计中,本着安全、节约、便于施工和有利于维护管理的原则,加压泵站的级数应尽量减少。随着我国经济社会的发展,与输水工程相关的水泵、管材及各类阀门和附件生产技术得到了快速提高,使得大型长距离输水工程沿途不设或少设泵站的高压输水系统成为可能。

1.3.4 重力和加压组合输水

在地形复杂的情况下,可利用输水地形高差较小,或仅用重力输水不够经济,管径过大流速过低时,可选用重力和加压组合输水方式。

1.4 水力计算

长距离输水工程管(渠)道的水头损失按照《室外给水设计规范》(GB 50013)的规定计算。压力管道的管径和输水方式对工程投资和安全运行都有很大影响,选择时可用经济管径公式或界限流速法初选,再进行综合经济技术比较选定。压力输水管道还应对各种运行工况进行水头损失校核计算。

第2章 管材选择

长距离输水工程中,管材对工程投资影响较大,管材选择主要根据工程规模、重要性、管材可靠性、管道直径、工作压力、工程地质、地形、外荷载、施工工期和投资等多方面进行综合分析比较后确定。

长距离输水管道使用的管材主要有钢管(SP)、球墨铸铁管(DIP)、预应力钢筒混凝土管(PCCP)、玻璃钢管(GRP)和预应力混凝土管(PCP)。

2.1 管材选用原则

长距离输水管道工程可使用管材的品种类型较多,不同厂家产品规格或参数不尽相同,质量亦有差别。据统计,在大量的长距离管道爆管事故中,由于管材原因造成的占相当大的比例,因此管材的选用尤为重要。

输水管道所用管材应考虑满足下列因素,并经技术经济比较后确定:

(1)应符合《生活饮用输配水设备及防护材料的安全性评价标准》(GB/T 17219)中的规定。

(2)应具有足够的强度,可以承受各种工况下的内外荷载。

(3)水密性好,在使用压力范围内无渗漏。

(4)管内壁光滑,水力损失小。

(5)综合价格合理,使用年限长,耐腐蚀。

(6)连接可靠,施工方便。

2.2 管材特性

2.2.1 钢管(SP)

钢管应用历史较长,范围较广,是一种广泛采用的传统管材,在给水工程中运用较早、较多。螺旋钢管具有高的机械强度和延伸率,可塑性好,能承受较高的外压和内压,对基础适应性强,相对于混凝土管和球墨铸铁管质量较轻,安装方便,单节长度可达12.0 m,接头少、接口形式灵活、无渗漏、管道整体性好;其整套机械化生产过程和双面埋弧自动焊接工艺,使钢管一次成型且易于保证产品质量;均匀分布的螺旋型焊缝,增大了钢管的强度和刚度。螺旋钢管受加工工艺的影响,管材存在较大的残余应力,降低了管道承受内压的能力,但由于输水管道工作压力低和生产效率高,螺旋钢管在输水工程中被广泛采用。

钢管必须作内外防腐处理,近年来逐渐引入石油、天然气管道防腐蚀技术,使得钢管在输水工程中变得更为可靠。其主要失效形式为接头安装焊接质量不合格造成的焊缝开裂。

2.2.2 球墨铸铁管(DIP)

球墨铸铁是一种铁、碳、硅的合金,其中碳以球状游离石墨存在,因而对基体的削弱和造成的应力集中很小,它具有很高的强度,良好的塑性和韧性,铸造性能好,在工业上应用广泛。球墨铸铁管是铸铁球化处理经离心铸造后拔管而成,内衬水泥砂浆,外部喷锌后涂沥青,其工艺流程见图 1-2-1。球墨铸铁管具有耐冲击、耐震动、耐腐蚀、抗拉强度高、韧性好、延伸率高、工作压力大等优点,自锚式和承插式接口连接方式对地基变化适应性强,各种管道附件使得安装方便,是目前推广的管材之一。球墨铸铁管的缺点是价格较高。



图 1-2-1 球墨铸铁管工艺流程

2.2.3 预应力钢筒混凝土管(PCCP)

预应力钢筒混凝土管是在带钢筒的混凝土管芯上缠绕环向预应力钢丝并制作水泥砂浆保护层而制成的管子,它由钢筒、钢制承插口圈、管芯混凝土、高强钢丝、水泥砂浆保护层组成,其工艺流程见图 1-2-2,PCCP 作为一种钢筒与混凝土制作的复合管,综合了钢管抗拉强度高、密封性好以及混凝土管抗压强度高、耐腐蚀性好的双重优点。具有高的抗渗、密封和抗压性能,节约钢材、降低造价、使用寿命长。接口采用钢环承插口,双胶圈密封,尺寸较准确,安装方便,能承受较高的内压和外部荷载,适应地基变化的性能较好。其主要失效形式为预应力钢丝锈蚀发生爆管。

在地下水对混凝土有侵蚀性时,PCCP 应进行外防腐蚀处理,其缺点是自身质量较重。

2.2.4 玻璃钢管(GRP)

玻璃钢管(GRP)是一种复合材料管,应用于埋地敷设条件时,主要为纤维缠绕夹砂玻璃钢管和离心浇铸夹砂玻璃钢管等。这些管道都具有质量轻、抗拉强度高、耐腐蚀、内壁光滑、水头损失小,一般在同样条件下直径可比其他管材减小,承插式安装方便等特点。

玻璃钢管的缺点是承受外压能力较差,容易受外压使管道失稳和变形造成接头渗漏。同时,对管道回填土、基础处理和施工技术要求较高,综合造价较高。玻璃钢管的主要失效形式为竖向荷载大或管内真空压力造成的环向失稳。

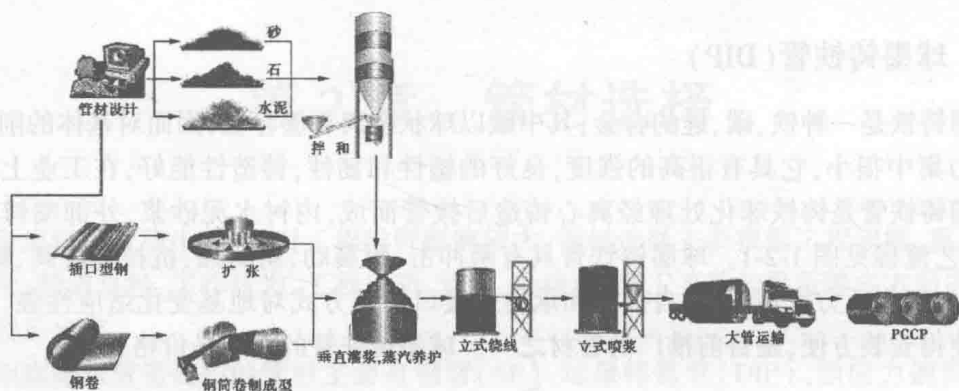


图 1-2-2 PCCP 工艺流程

2.2.5 预应力混凝土管(PCP)

承插式预应力钢筋混凝土管于 1959 年试制成功,曾一度作为输配水管道的主要材料。根据制作工艺不同,又有一阶段和三阶段预应力混凝土管之分。与金属管道相比,具有节约金属材料、耐腐蚀、价格低廉等优点,但随着其他管材的产量增大,其使用有下降趋势。

预应力混凝土管的缺点是管材强度、工作压力和密封性较差,有渗漏,自身质量较重,生产质量不稳定,大口径管废品率高,爆管事故发生率高,输水安全性差。

2.3 管材选择方法

2.3.1 管材选择的一般方法

我国地域辽阔,各地区的地形地质状况存在较大差异,经济形势与应用管材的历史状况也不一样,而每项工程的系统特性又不相同,因此长距离输水工程管材的应用也是多种多样的。一般情况下,长距离输水工程根据工程的规模、管道工作压力、输水距离的长短、工程的重要性、施工工期、地形地貌及地质、当地管材生产状况、工程资金来源等情况,进行技术经济、安全等方面论证综合比较后确定。大型长距离输水管道工程大都在钢管、球墨铸铁管、预应力钢筒混凝土管、预应力混凝土管与玻璃钢管等管材中选择。

当地质条件较好,使用压力较低(1.0 MPa 以下)时,中小口径输水管道(DN1200 以下)可通过比较选择使用球墨铸铁管、塑料管、夹砂玻璃钢管、预应力钢筋混凝土管等非金属管材;大口径输水管道(DN1200 及以上)可通过比较选择使用钢管、球墨铸铁管、预应力钢筒混凝土管。

单条重要的大口径输水管线,或地质条件较差、使用压力较高(1.0 MPa 以上)时,宜选择钢管。

输水管线穿越河流、铁路等时宜选择钢管。

预应力混凝土管是最经济的管材,在我国应用较广,但为了保证安全输水,对大口径、工作压力高的输水工程应谨慎采用预应力混凝土管。玻璃钢管的应用应注意选择合适的环刚度,其施工安装即使在厂家指导下也应严格控制。

设计中需通过加压泵站及输水压力管道水力过渡过程计算,分析输水管道的水压线变化和沿线地形、地质情况,根据管道断面最大压力、外部荷载、土的性质、施工维护和材料供应等条件确定管材。

距离特长(50 km 以上)的大口径输水管道,当施工期短或地形起伏及使用压力变化大、地质条件变化大时,可通过比较选择多种管材组合使用的方案。对压力大、基础较差及河道和穿越各种障碍的管段使用钢管,以发挥其强度高、适应性强、接口形式灵活的特点;其余压力管段采用预应力钢筒混凝土管;地质条件较好的地段采用玻璃钢管等。

2.3.2 管材经济技术量化选择方法

长距离输水管道工程中,管材投资约占总投资的 70%~80%,作为工程的主体,管材的经济性和技术合理性、可靠性决定了工程效益的发挥。在管材的经济技术比较工作中,各种管材经济方面的比选量化相对容易,但技术性能的比选较为复杂,涉及的因素较多,一是不同管材自身的机械性能不同,结构和制造工艺不同,表现在其应用范围和适用条件不同,而地质条件、工作压力、周围环境、外部荷载、施工质量、工程管理等对管材性能的发挥又有很大的影响,且直接影响工程的安全、输水可靠性和运行效益。所以,一般情况下管材的经济技术方面的比选往往只局限在经济比选的层面,技术性能的比选只作定性的比较,受使用管材习惯和经验水平影响较大。如何客观地根据工程规模、管材技术特性和使用条件等多方面全面、合理地进行长距离输水工程管材经济技术综合比选一直是设计人员面临的技术难题,为此作者研究了一种长距离输水管道工程管材经济技术量化选择方法。

管材经济技术量化选择步骤如下。

2.3.2.1 分别计算各种管材管道工程的年运营费

为保证各种管材经济比选的合理性,对应的管道工程年运营费的计算是以相同输水规模、相同长度的管段为前提的。

年运营费主要为投资成本提成、生产费和能源费三项。

$$A_j = A_{c_j} + A_{v_j} + A_{s_j} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, m) \quad (1-2-1)$$

式中: A_j 为年运营费; A_{c_j} 为管材相对应的管道工程的年成本,与管道工程总投资、使用年限和年利率有关; A_{v_j} 为年平均生产费,主要是系统折旧及维修、养护、管理等费用; A_{s_j} 为年耗电费; m 为参与比选的管材数量。

各种管材管道工程的年运营费可以依整条管道为计算单元,也可以单位长度(每 1 km)管段为计算单元。

2.3.2.2 管材技术特性量化计算

1. 制定管材—影响因素项目量化评分表

表 1-2-1 列出了各种管材分别对应性能影响因素的评分,共 15 个影响因素、43 个分项。其中, K_a 为主要影响因素项目,包括管道直径、工作压力、地质条件、外部荷载、供水方式、管道根数、管线设计、阀门设备和周围环境, $i=1, 2, 3, \dots, 9$; K_b 为一般影响因素项目,包括防腐措施、产品质量、安装质量保证程度、维护检修、二次污染和工程管理, $i=1, 2, 3, \dots, 6$ 。 K_a 、 K_b 与管材及其对应的各影响因素分项有关,管材数量不限于表中所列内容;该表为通用表格,评价值的取值范围为(0,1],设计人员结合工程的技术特性进行赋分。

表 1-2-1 各种管材分别对应性能影响因素的评分

影响因素		钢管	PCCP	球墨铸铁管	玻璃钢管	预应力 混凝土管	PE 管	其他参与 比选管料
管道直径 (mm)	$D > 1\ 600$							...
	$800 \leq D \leq 1\ 600$							...
	$D < 800$							...
	$P > 2.5$							...
	$1.6 < P \leq 2.5$							...
	$0.6 \leq P \leq 1.6$							...
工作压力 (MPa)	$P < 0.6$							...
	砂壤土、碎石土、黏土							...
	岩石							...
	软土(井点降水)							...
	不均匀沉降							...
	换土或加固地基							...
外部荷载	覆土厚度 $> 10\text{ m}$							...
	$2\text{ m} \leq \text{覆土厚度} \leq 10\text{ m}$							...
	覆土厚度 $< 2\text{ m}$							...
	地面动荷载大							...
供水方式	地面动荷载小							...
	直供水厂							
	调蓄工程							

主要项目 K_a

续表 1-2-1

影响因素		钢管	PCCP	球墨铸铁管	玻璃钢管	预应力 混凝土管	PE 管	其他参与 比选管料
主要项目 K_5	管道根数	双管或多管有联通						
	管线设计	单管						
		合理						
		一般						
	阀门设备	先进及自动化控制						
一般项目 K_6	周围环境	一般及手动						
		农田						...
		村边						...
		重要交通、城镇、厂矿等						...
		加强级						...
一般项目 K_6	防腐措施	一般						...
	产品质量	行业整体水平高						...
		行业质量参差不齐						...
	安装质量 保证程度	易						...
		中						...
一般项目 K_6	维护检修	难						...
		方便						...
	二次污染	困难						...
		环境水质污染						...
	工程管理	环境水质无污染						...
一般项目 K_6	二次污染	机构健全,制度落实						...
		一般						...
		人员及制度不落实						...