

《工业水系统集成优化导则》（征求意见稿）
编制说明

《工业水系统集成优化导则》编制组

二〇一二年五月

目 录

1	任务背景	1
1.1	我国水资源短缺问题的根本解决途径之一	1
1.2	我国水环境污染的重要解决途径	1
1.3	工业水系统集成技术推广需求	2
1.4	节水标准化体系需逐步完善	2
2	任务来源	2
3	标准编制的依据与编制原则	2
3.1	目的性原则	3
3.2	科学性原则	3
3.3	适用性原则	3
3.4	协调性原则	3
4	工作过程	3
5	标准主要内容释义	4
6	预期效果	11
6.1	经济效益方面	11
6.2	社会效益方面	11
6.3	环境效益方面	11
7	与国内外同类标准的对比	11
8	对实施本标准的建议	11
9	参考文献	12

《工业水系统集成优化导则》编制说明

1 任务背景

1.1 我国水资源短缺问题的根本解决途径之一

我国是一个水资源严重匮乏的国家，人均水资源仅为世界水平的 1/4。目前，我国黄淮海及内陆河流域有 11 个省、区、市的人均水资源拥有量低于联合国可持续发展委员会确定的 1750 立方米用水紧张线。随着经济发展和城市化进程的加快，城市缺水问题尤为突出，据统计，全国 669 个城市，400 个城市常年供水不足，其中有 110 个城市严重缺水，日缺水量达 $1600 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，年缺水量 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，由于缺水每年影响工业产值 2000 多亿元。天津、长春、大连、青岛、唐山和烟台等大中城市已受到水资源短缺的严重威胁。

通过对 2003 年-2010 年我国用水统计数据发现，我国工业用水量正以年均 3% 的速率逐年增长，其占用水总量的比例也逐年增加。截止 2012 年，我国工业用水总量为 1447.3 亿 m^3 ，是 2003 年工业用水总量的近 1.3 倍。而随着工业产值的大幅增加，工业取水量也将随之高速增长。有研究报告表明，预计 2050 年工业总产值达到 490778 亿元时，取水量将达到 3436 亿 m^3 ，此时的取水量是 2000 年全国工业取水量的近 5.5 倍。因此，工业用水量特别是取水量的快速增长，加剧了水资源供需矛盾。面对如此严峻的形式，节水减排，最大限度地降低淡水资源使用量成为人们迫切解决的问题。

目前工业节水途径很多：如提高工业用水重复利用率；利用经济杠杆，实行科学管理；加强节约用水基础工作，研究节水设备和节水工艺；利用处理后的生活废水代替工业用水，实现废水资源化等。其中，提高工业水重复利用率是工业节水中最根本、最行之有效的途径^[1]。尽管“十一五”以来，我国工业用水效率得到不断提升，但目前工业用水重复利用率仍不足 60%，比国外先进水平低 15%-25%。此外，我国工业非传统水资源利用量较低，再生水在工业中的利用量仅相当于取水量的 0.4%，海水及苦咸水利用量仅相当于日本的 21.3%、美国的 12.8%^[2]。因此，我国工业节水水平和总体效率提高仍具有相当大的潜力。

目前我国常规的节水策略，主要采用直观的定性分析。通常着眼于单个用水或者局部用水系统，并且很大程度上依靠工程师个人经验来完成，只能达到有限的节水目的^[3]。这种基于局部和定性的方法只能达到有限的节水要求，不能使整个用水系统的水资源利用和废水的重复再利用达到最优。而水系统的集成优化技术是将整个用水系统视为一个有机的整体，系统和综合低合理分配各用水过程的水量和水质，通过定量计算使全系统的水重复利用率达到最大最优，同时是废水的排放量达到最小最优。水系统集成优化技术可以在现有水处理和水利用技术条件下使用水系统取得最大的节水效果和经济效益。当前形势下，工业水系统集成优化非常重要和紧迫。

1.2 我国水环境污染的重要解决途径

随着工业的发展和水资源的日益紧缺，废水排放对环境的污染也已成为制约可持续发展的一个重大课题。随着环境问题的日益突出，水污染导致的水危机问题已经引起世界的普遍关注。

通过对国家环境统计数据发现，2010 年我国工业废水排放量 2374732 万吨，占全国废水排放总量的近 50%。大量排放的工业废水，使河流、湖泊、地下水等天然水体受到污染，是造成水环境状况日趋恶化，水体使用功能不断下降的主要原因之一。

水系统集成优化就是将工业企业现行用水网络中排放的废水，通过直接回用、再生回用、再生循环等途径进行合理配置，实现分质用水，一水多用。在减少新鲜水消耗的同时，减少

废水的排放量；在达到节水目的的同时，减轻由废水排放造成的环境污染。

因此，对工业用水进行系统集成，不仅是缓解水资源紧缺的途径之一，也是缓解我国环境污染问题的重要解决途径。

1.3 工业水系统集成技术推广需求

水系统集成优化的实施与应用，离不开高效水资源利用技术的研究和开发。面对我国水资源短缺和水污染日益严重的严峻局势，国内外高等院校、科研机构及有关工业企业在水资源多级利用和废水深度处理与回用等方面研发了较多的成果，例如，钢铁行业有焦化废水处理与回用技术、含油（泥）废水回用技术、多级供水技术、串级供水技术、膜分离技术（微滤、超滤、纳滤、反渗透、电渗析等）、电吸附脱盐技术等；纺织行业有喷水织机废水处理再利用系统、棉纤维素新制浆工艺节水技术、缫丝工业污水净化回用装置、洗毛污水“零”排放多循环处理设备、印染废水膜法深度处理回用技术等。但由于我国节水减排工作的全面实施尚缺乏相应的共性技术标准支撑，因此众多先进技术成果难以推广和应用。

因此，本标准着眼于我国水资源紧缺，工业用水及废水排放量大，水重复利用率较低等问题，结合过程工业用水特点，对水系统集成优化技术方法进行深入研究，提出依据充分、切实可行的程序及方法，以指导工业节水技术推广应用，促进工业水系统集成优化的规范化和标准化，提高工业用水效率。

1.4 节水标准化体系需逐步完善

高效水资源利用标准是促进水可持续发展的标准化建设重要部分，为规范高效用水过程而制定。具体包括节水基础、管理、方法、以节水为直接目的的节水技术和产品，以及海水（苦咸水）淡化和利用等标准，不包括一般的用水产品、材料的性能标准以及水质检测标准。涉及的领域包括工业、农业、城镇、海水等。

在过程工业水系统集成优化技术标准方面，我国在工业节水标准体系的指导下，近年来研究制定了一系列国家标准，主要包括：①基础类标准，涉及术语、分类、图形符号等，如《工业用水节水 术语》（GB/T 21534-2008）等；②方法类标准，包括水平衡测试、节水评价等，如《企业水平衡测试通则》（GB/T 12452-2008）、《节水型企业评价导则》（GB/T 7119-2006）；③管理类标准，主要是用水计量统计、取水考核、取水定额等，如《工业企业产品取水定额编制通则》（GB/T 18820-2002）、《工业循环水冷却设计规范》（GB/T 50102）、《工业循环冷却水处理设计规范》（GB 50050）、《用水单位水计量器具配备和管理通则》（GB 24789-2009）、《企业用水统计通则》（报批稿）等；④产品类标准，主要是节水器具和设备标准等，如《水嘴用水效率限定值及用水效率等级》（报批稿）、《淋浴器用水效率限定值及用水效率等级》（报批稿）等。

目前，我国基本形成了涉及工业取（用）水定额系列标准、节水基础标准化、节水管理标准化、强制性用水生活器具水效标准和标识等标准体系。但是，我国尚缺乏完备的工业企业节水设计技术方法、节水管理体系以及相关的技术标准，这严重滞后于我国创建节水型工业、节水型企业的要求。因此，制定以节水为主要目的的水系统集成优化共性技术的标准化程序和方法十分迫切。

2 任务来源

本标准由全国工业节水标准化技术委员会提出并归口，2011年申请立项，被列入国家标准化管理委员会《关于下达2011年第二批国家标准制修订计划的通知》（国标委综合【2011】66号）正式批准立项，计划项目号20110773-T-469，由轻工业环境保护研究所、中国标准化研究院等单位起草。

3 标准编制的依据与编制原则

本标准根据《标准化工作导则 第1部分:标准的结构和编写规则》(GB/T 1.1-2000)、《标准化工作导则 第2部分:标准中规范性技术要素内容的确定方法》(GB/T 1.2-2002)的要求,在充分研究国内外相关资料,分析多项国内外水系统集成优化实例基础上,确定标准的组成要素。

其编制原则主要体现为目的性、科学性、适用性和协调性。

3.1 目的性原则

本导则以指导工业节水技术推广应用、促进工业水系统集成优化的规范化和标准化、提高工业用水效率为目的,对工业水系统集成优化技术的目的、原则、方法、程序等进行规范和统一,为企业在节水减排设计、运行、实施、控制及管理等方面提供依据。

3.2 科学性原则

本导则编制小组通过企业实际调研、国内外文献收集和分析,以课题研究成果、推广示范为依据,对工业水系统集成技术在设计、实施过程中的共性技术及方法进行提炼和归纳,力求内容全面、方法科学性、表述规范,体现其科学性。

3.3 适用性原则

本导则的编制充分考虑我国各规模工业企业节水现状及节水水平,确保导则中规定的程序及方法在切实可行、易于实施的基础上起到提高工业用水效率、促进国内外先进技术推广与应用的目的。

3.4 协调性原则

本导则与现行相关国家、行业标准协调一致,无相悖之处。符合国家发展规划及发展趋势。

4 工作过程

标准起草从2011年6月开始,可以分为5个阶段:

第一阶段: 成立起草组

中国标准化研究院接到标准制定任务后,立刻组织落实标准制定工作。由中国标准化研究院为工作领导机构,轻工业环境保护研究所为标准制定实施机构,并由来自相关行业、企业和科研机构的相关专家组成起草组。

第二阶段: 文献和资料收集

为了按照文件要求,准确完成制定工作,首先通过各种途径,收集并学习《节水型企业评价导则》(GB/T 7119)、《企业水平衡测试通则》(GB/T 12452)、《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923)、《工业用水节水术语》(GB/T 21534)、《工业用水分类及定义》(CJ40)、《循环冷却水用再生水水质标准》(HG/T3923)、《再生水水质标准》(SL 368)、《水系统集成优化——节水减排的系统综合方法》^[6]、《Industrial Water Reuse and Wasterwater Minimization》^[7]等相关文件和书籍。收集和研究了众多国内外水系统集成优化方法和实例。经过资料整理和汇总,按照以上指导性文件的精神和要求,初步理顺了标准制定的方向和思路。

第三阶段: 草案编写

2011年11月,依照编写提纲起草了标准草稿,经过反复研讨和修改形成初稿和征求意见稿。

第四阶段: 征求意见

第五阶段: 标准审查

5 标准主要内容释义

1.范围

本标准规定了水系统集成优化的术语和定义、基本原则、程序和方法。
本标准适用于过程工业水系统集成优化的设计及改造。

条款释义：

本标准编制主要针对过程工业水系统集成优化的设计和改造。在标准编制过程中，编制组充分考虑了各类过程工业企业的用水特点，对国内外过程工业水系统集成案例进行分析和经验总结，制定了其在水系统集成优化过程中的共性程序及方法，同时规定了水系统集成优化过程中涉及的术语、定义和基本原则。因此，该标准适用于各类过程工业水系统集成优化的设计及改造。

2.规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 7119 节水型企业评价导则
GB/T 12452 企业水平衡测试通则
GB/T 19923 城市污水再生利用 工业用水水质
GB/T 21534 工业用水节水 术语
CJ40 工业用水分类及定义
HG/T3923 循环冷却水用再生水水质标准
SL 368 再生水水质标准

条款释义：

本条指出了标准本部分引用的国家标准包括 GB/T 7119《节水型企业评价导则》、GB/T 12452《企业水平衡与测试通则》、GB/T 19923《城市污水再生利用 工业用水水质》、GB/T 21534《工业用水节水术语》、CJ40《工业用水分类及定义》、HG/T3923《循环冷却水用再生水水质标准》和 SL 368《再生水水质标准》等。

GB/T 7119《节水型企业评价导则》规定了节水型企业的相关术语和定义、计算方法、评价指标体系建立的原则、评价指标体系、考核要求和评价程序。为本标准中水系统集成优化效果评估指标提供计算依据。

GB/T 12452《企业水平衡与测试通则》规定了企业水平衡测试相关术语定义与计算方法。为本标准术语定义提供依据。

GB/T 19923《城市污水再生利用 工业用水水质》规定了作为工业用水的再生水水质标准和再生水利用方式。为本标准中约束条件和极限数据的确定提供参考和依据。

GB/T 21534《工业用水节水 术语》统一了工业用水、节水的术语定义，是工业节水管理的基础标准，同时也是标准本部分规定的术语的依据和基础。

CJ40《工业用水分类及定义》统一了工业用水分类和定义，是标准本部分规定的术语的依据和基础

HG/T3923《循环冷却水用再生水水质标准》规定了作为循环冷却水的再生水的水质指标。为本标准中约束条件和极限数据的确定提供参考和依据。

SL 368《再生水水质标准》规定了再生水使用功能和水质要求。为本标准中约束条件和极限数据的确定提供参考和依据。

3.2 新鲜水 freshwater

企业内用水单元或系统取自任何水源被该企业第一次利用的水。

条款释义：

本标准在定义新鲜水概念时，依据《GB/T 12452 企业水平衡测试通则》中新水量的定义，规定企业内用水单元或系统取自任何水源被该企业第一次利用的水为新鲜水，其中任何水源可以是地表水、地下水源、城镇供水工程，以及企业从市场购得的其他水或水的产品（如蒸汽、热水、地热水等）。

3.8 水阱 water sink

需要水的用水单元。

条款释义：

水阱是水系统集成优化过程中的基本概念，贯穿于水系统集成优化设计及实施全过程。《Industrial Water Reuse and Wasterwater Minimization》和《水系统集成优化》等专著中将水阱定义为“需要水的用水单元的入口”，也有文献中^{[4][5]}将水阱泛指为“可以接受水的用水操作单元”。编制组在查阅大量国内外相关文献的基础上，将其定义为“需要水的用水单元”。

3.9 水源 water source

可以提供给用水单元使用的水流。

条款释义：

水系统集成优化中的水源与日常公众理解的如“地表水水源”、“地下水水源”及新鲜水定义中的“任何水源”等水源概念不同。水系统集成优化过程中的水源与水阱是一对相对概念，主要强调其可为其他用水单元供水的特点。本标准中定义的水源可以是新鲜水、用水单元产生的废水、处理后的再生水等。为了体现水源特点，方便实际操作中水源调查工作的开展，编制组在参考国内外相关文献的基础上，将其定义为“可以提供给用水单元使用的水流”。

需要特别说明的是，通常的用水单元既有水的流入，也有水的流出，所以对于该用水单元而言，其既是水源也是水阱。但也有一些特殊的用水单元只是水源（例如蒸发过程）或水阱（例如烧碱生产中的化盐过程）^[6]。

3.10 极限浓度 limiting concentration

用水单元进、出口允许的杂质最高浓度。

条款释义：

极限浓度和极限水流量统称为水系统集成优化的极限水数据，是确定最小新鲜水流量及水网络设计优化的基础数据。用水单元的极限浓度包括极限进口浓度和极限出口浓度。极限进口浓度是指用水单元进口处允许的最大浓度，其决定了其他用水单元排放的废水能否被本单元利用的可能性。极限出口浓度是指用水单元出口处允许的最大浓度，其为其他用水单元能否使用本单元排放的废水和确定极限水流量提供依据。

3.11 极限水流量 limiting flowrate

在给定的极限进出口浓度下，为去除本单元一定质量负荷的杂质所需的水流量。

条款释义：

极限水流量是指在给定的极限进出口浓度下，为去除本单元一定质量负荷的杂质所需的水流量。但在实际工业中，许多用水操作都有固定流量的要求，也可能存在固定水损失（如冷却水塔蒸发）或水增加（如脱水过滤器）的情况^[7]。所以又将极限水流量分为极限进口水流量和极限出口水流量。

5.2.1 确定优化范围

企业应根据需求确定水系统集成优化范围。

条款释义：

本条款指出确定优化范围的方法。在确定水系统集成优化范围时，工作组应与企业负责

人及主要技术人员进行充分沟通，根据企业需要划定优化范围。优化范围的大小直接影响水系统集成方案设计的难易程度及实施效果。该优化范围即可是部分工艺车间，也可覆盖整个厂区。

5.2.2 调查水源水井

调查优化范围内的水源水井，调查表格式参见附录 A，调查内容应包括：

- a) 水源、水井所在车间；
- b) 水源、水井所在工艺单元；
- c) 水源流量；
- d) 水井用水流量；
- e) 水井当前用水来源。

条款释义：

本条款指出水源水井调查需明确的内容。水源水井的调查是水系统现状调查的核心步骤，是水系统集成优化后续工作的基础。工作组成员应到水源、水井所在地点进行实地调查，明确其所在物理位置，具体工艺单元即用水工序、流量及水流走向，同时确定各水源水井间的管道连接关系、连接方式，填写水源、水井调查表，为现行水网络图的绘制提供参数和依据。

需要特别说明的是，调查中水源的流量是指该单元实际可提供的水量，而非该单元的总流量；同样，调查中水井的流量是指该单元除去目前已经回用的废水流量后仍需要补充的新鲜水流量。

5.2.3 绘制用水网络现状图

5.2.3.1 用水网络现状图是对企业用水网络现状的直观描述，应明确：

- a) 新鲜水流量和来源；
- b) 各水井分配到的新鲜水流量；
- c) 各水源流量和流向

5.2.3.2 根据水源水井调查数据，绘制用水网络现状图，样式参见附录 B。

条款释义：

本条款指出绘制用水网络现状图的要求和绘制依据。现行新鲜水用水网络图是对企业新鲜水用水网络现状的直观描述，其建立在对企业水源、水井的充分调查基础上。在用水网络现状图中，需要明确新鲜水源、总流量、各水井分配情况以及出水流向。通过用水网络现状图，可以直观了解优化范围内的新鲜水分配情况及废水产生量，为确定优化对象及用水网络设计提供依据。

5.3.1 确定优化对象

企业应根据现场调查数据及专家咨询，确定待优化的用水单元。

条款释义：

本条款指出确定优化对象的方法。工作组应根据水系统现状调查结果，充分考虑优化范围内所有水源水井，分析其回用潜力，通过专家咨询等方式确定待优化的用水单元。优化对象的选择将直接影响水系统集成优化效果。

5.3.2 确定约束条件

5.3.2.1 约束条件应包括主要杂质种类、浓度、用水单元水流量等指标。

5.3.2.2 确定约束条件时应考虑：

- a) 优化对象水质特点及工艺需求；
- b) 经济性及可操作性；
- c) GB/T 19923、HG/T3923、SL 368 中相关水质标准；
- d) 其他可能限制水回用的因素。

注 1：采用水夹点法设计水系统集成优化方案只涉及主要杂质和流量 2 类约束条件；采用数学规划法在必须确定主要杂质及流量 2 类约束条件基础上，可以选择经济指标、用水网络复杂程度等其他指标作为约束条件。

注 2：在确定主要杂质时，企业可以选取对优化对象影响较大的一种或几种杂质作为约束条件，而在初始网络(见 5.4 节)生成后，将其他杂质作为约束再进行考虑。

注 3：约束条件个数不宜过多，以免会增加水系统集成优化方案求解难度。

5.3.2.3 通过测量、可靠的历史数据统计分析或其他方法得到约束条件的数据。

条款释义：

本条款指出确定约束条件的步骤和方法。标准中所规定的约束条件是指一切可能限制水回用的因素，如主要杂质种类、用水单元水流量、经济性指标、网络连接数等。其中主要杂质种类和流量是水系统集成优化约束条件必选的两项指标，是最小新鲜水流量确定的基本参数。

其中主要杂质种类的合理确定是能否获得较优系统的关键。杂质种类取的过多，则集成优化过程过于复杂；杂质种类取得过少，未考虑的杂质种类可能对一些单元的操作产生影响。因此，在实际应用中，可以选择对设备影响较大的杂质作为约束条件，而在初始网络生成后，将其他杂质作为约束再进行考虑。同时，对于作用相近的杂质种类（如钙、镁离子都主要作用于水的硬度）可以合并。

在确定约束条件后，需要对主要杂质浓度及流量进行现场测量或通过可靠的历史数据分析获取数据，目的是为极限数据的确定提供依据。

5.3.3 确定极限数据

5.3.3.1 根据约束条件数据确定用水单元的极限水流量以及主要杂质的极限浓度，数据表格参见附录 C。

注：对已知明确禁止引入某种杂质的单元，应将杂质极限进口浓度设为零；对排水含有不可被其他单元再利用的杂质的用水单元，应将极限出口浓度设为极大值。

5.3.3.2 确定极限数据应考虑：

- a)GB/T 19923、HG/T3923、SL 368 中相关水质标准；
- b)传质推动力；
- c)最大溶解度；
- d)避免杂质析出；
- e)避免装置结垢及堵塞；
- f)避免固体物料沉降的最小流率。

条款释义：

本条款指出确定极限数据的方法及主要考虑因素。极限数据是指约束条件的极限数据，其中包括极限浓度及极限水流量。极限数据的合理确定不但影响较优系统的建立，也是使新鲜水用量和废水排放量达到较小的关键。极限数据过大，则设备有可能无法正常运行；极限数据取的过于保守，则不能达到较好的节水减排效果。对于极限数据的重要性及具体确定方法可参考《水系统集成优化——节水减排的系统综合方法》、《工业用水节约与废水减量》等书中相关内容。

5.4 最小新鲜水流量的确定

根据废水直接回用、再生回用或再生循环等途径，可采用水夹点法或数学规划法确定用水系统的最小新鲜水流量，方法参见附录 D 和附录 E。单杂质水系统宜采用水夹点法，多杂质或复杂水系统宜采用数学规划法。

条款释义：

本条款指出最小新鲜水流量的途径和确定方法。水系统集成技术主要通过废水直接回

用、废水再生回用及废水再生循环及其组合方式对水系统进行合理分配和高效利用。确定最小新鲜水流量所采用的主要技术方法包括水夹点法和数学规划法，其是水系统集成优化的基础方法，也是其他优化方法研究、开发及综合的基础。水夹点法和数学规划法确定最小新鲜水流量的方法可参考《水系统集成优化——节水减排的系统综合方法》、《Industrial Water Reuse and Wasterwater Minimization》等书。

5.5.1 水系统集成优化方案初步设计

企业应根据最小新鲜水流量，设计用水网络，形成水系统集成优化方案，设计用水网络时应遵循：

- a)以能够实现杂质从用水操作到水流的传递过程为基本原则；
- b)以用水单元极限数据为约束。

条款释义：

本条款指出水系统集成优化方案设计的基本原则、主要约束。水夹点法和数学规划法具体设计方法可参考《水系统集成优化——节水减排的系统综合方法》、《Industrial Water Reuse and Wasterwater Minimization》等书。

5.5.2 水系统集成优化方案优化

企业应对优化对象进行除约束条件以外的其他限制水回用的杂质进行分析，确定 5.4.1 中设计的用水网络是否满足各项水质限制因素，并通过操作经验、工程诀窍对用水网络进行调优。

条款释义：

本条款指出水系统集成优化方案优化步骤和方法。企业应在初步水系统集成优化方案形成后，对水回用可行性进行分析，即对优化对象的水源、水阱进行更详细的水质分析。此时，需要考虑除主要杂质外的其它限制水回用的杂质对系统的影响，判断目前形成的优化方案是否满足所有限制因素。通过操作经验、工程技巧和多杂质水质分析，改进初始水系统集成优化方案，调整、优化用水网络。若经过调整和优化后的水系统集成优化方案不能满足所有水回用限制，需重新考虑优化对象，包括在最初分析和综合中没有包括的几个新加水源的可能性。

5.5.3 水系统集成优化方案经济性分析

企业应明确需要改进以适应水质的工艺及设施，估算改造成本、水回用效益、投资回收期等经济指标，分析水系统集成优化方案经济性。

条款释义：

本条款指出水系统集成优化经济性分析方法。企业应对优化后的水系统集成优化方案进行经济性分析。明确需要改进以适应水质的工艺及设施，计算改造成本、水回用效益、投资回收期等。若经济性不能满足实际要求，需要调整优化方案，甚至重新考虑优化对象的选取。

5.6 水系统集成优化方案实施及效果评估

5.6.1 根据水系统集成优化方案，进行工程设计及建设。

5.6.2 企业应从经济、管理、用水评价指标等方面综合评价水系统集成优化实施效果。

5.6.3 企业应依据 GB/T 7119 计算本企业内各种用水评价指标，包括单位产品取水量、重复利用率、废水回用率、冷却水循环率、冷凝水回用率、达标排放率等。

5.6.4 企业应根据水系统集成优化结果，总结经验，持续挖掘企业内节水潜力。

- a)完善相关管理制度，加强管理；
- b)分析测算相关节水改造项目的节水效益及成本；
- c)与同类企业的水平进行比对或对标自检，持续挖掘企业内节水潜力。

条款释义：

本条款指出水系统集成优化方案的实施步骤，评估与管理要求。指出企业应水系统集成优化方案通过后，制定详细的工程施工计划，按计划严格施工，以保证水系统集成优化方案实施质量。并依据 GB/T 7119 计算优化后企业内各种用水评价指标，同时从经济、管理等方面综合评价水系统集成优化效果，总结经验，持续挖掘企业内节水潜力。

附录 B
(资料性附录)
用水网络现状图

用水网络现状图是对企业用水网络现状的直观描述，其建立在对企业水源、水质的充分调查基础上。在用水网络现状图中，需要明确新鲜水水源、总流量、各用水单元新鲜水分配情况以及出水流向。

绘制用水网络现状图时，企业可以根据GB/T 12452对企业用水进行分类，也可根据企业操作需要选择其他分类方式。

条款释义：

本附录给出了水系统集成优化前，依据水系统现状调查所绘制的现行用水网络简图。规定了图中应明确的各要素。具体示例见图 5-1：

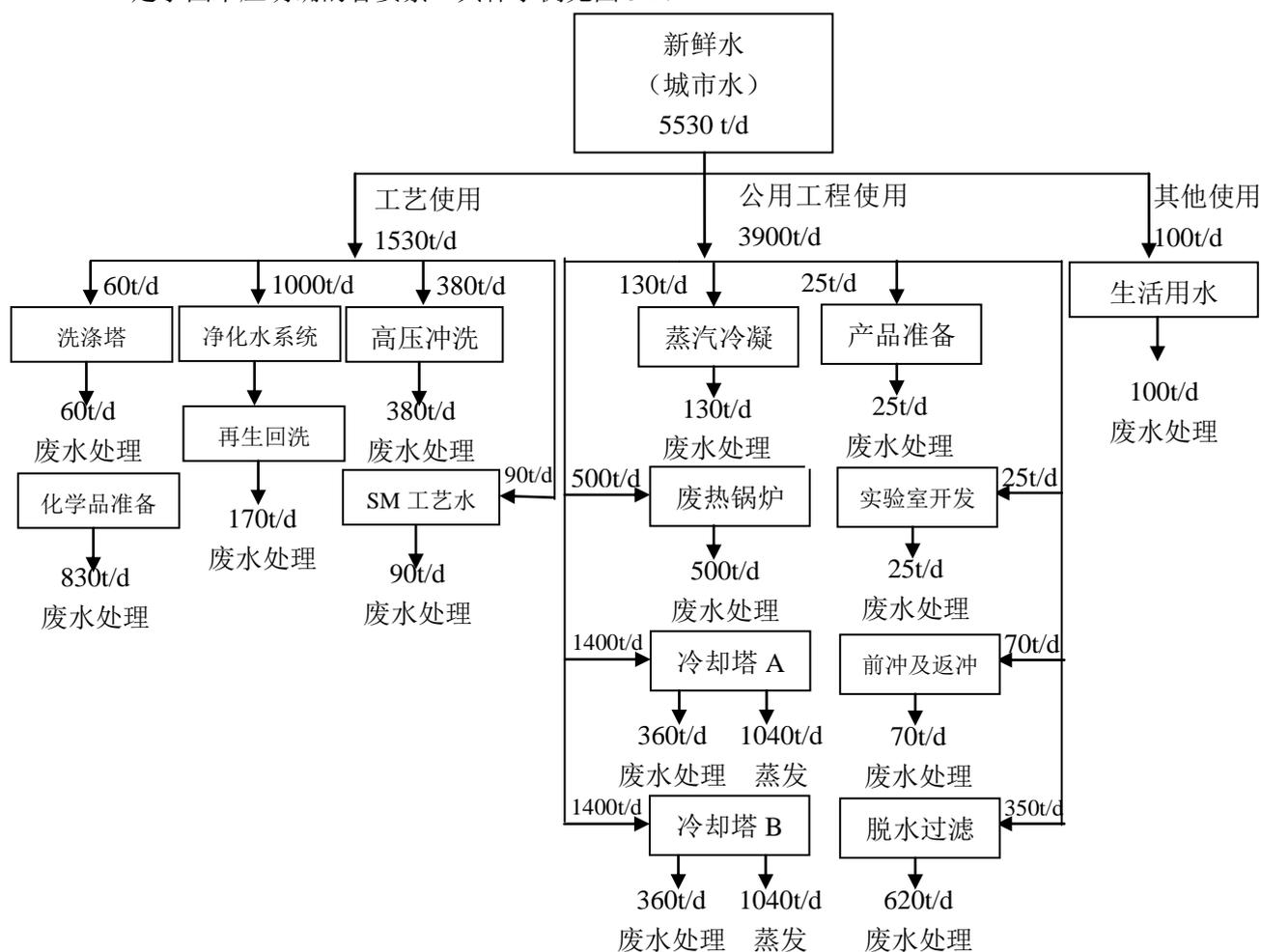


图 5-1：某石化厂水系统集成优化前的用水网络现状图^[7]

附录 D 和附录 E
水夹点法和数学规划法

条款释义：

目前，国内外水系统集成优化设计方法众多，而水夹点法和数学规划法是水系统集成优

化中最基本的两种设计方法，是众多新方法研究、开发及综合的基础。本条款主要介绍了水夹点法和数学规划法的基本设计原理和步骤。

水夹点法的提出最早出现于1994年，Wang和Smith教授首次将过程集成技术应用于废水最小化和废水处理系统设计之中^[7]，但其设计的用水网络往往存在回路，比较复杂，又没有明确的简化准则^{[8]-[9]}。对于这一缺陷，许多学者^{[10]-[15]}对此进行了研究和改进。1994-1995年间，英国威尔士的孟山都公司首次使用了水夹点技术，使新鲜水消耗降低了30%，新建的废水处理设施的投资从1500万美元降低到350万美元，并使每年的操作费用和原材料成本降低了100美元。但夹点设计法在解决多杂质问题上存在一定局限性，虽然Wang和Smith提出了“浓度转移”的方法，但这种方法仅能处理小规模问题，不能给出具体的回用匹配方案。

数学规划法可以克服多杂质问题的局限性。1980年，Takama等^[16]首次采用数学规划法求解石油炼油厂中水分配网络综合问题。1997年Doyle和Smith^[17]提出了求解多杂质问题的迭代方法，假设过程的所有污染物质均达到最大出口浓度的条件下构建线性规划问题。1998年，Alva-Argaez等^{[18]-[19]}提出了针对多杂质系统的求解方法，同时考虑了水处理过程，其目标函数包括管道费用和水处理费用。2000年，Yang^[20]等采用混合整数非线性规划求解了废水回用网络(WastewaterReuseNetwork, WWRN)，首先建立了含有N个用水过程单元的用水网络超结构。2002年，胡仰栋^[21]等对于废水最小化问题进行了研究，提出了操作水源和操作序列的概念，在采用夹点分析对过程最小用水量进行计算的基础上，对单杂质、多杂质的再利用过程的废水最小化问题，提出了逐步线性规划法的过程设计方法。数学规划法虽然解决了多杂质求解的复杂性，但可能造成超结构规模过于庞大，难于求解。

为了使优化方法更加客观和简单，Alva-Argaez^[22]等结合水夹点法和数学规划法，建立了多杂质系统的混合整数线性模型。2004年，李英^[23]等把水夹点法与数学规划法结合起来，建立了过程使用新鲜水，排放废水和回用的各种可能匹配方案的用水网络超结构，及其MINLP(mixed integernonlinearprogramming)模型。该方法既避免了水夹点综合设计用水网络得不到真正意义的最优解，又在一定程度上防止了超结构规模过大的现象。

虽然水夹点法和数学规划法均存在不足，目前也有众多学者对新方法进行研究和开发，但水夹点法和数学规划法是水系统集成优化中最基本的两种设计方法，是众多新方法研究、开发及综合的基础。

表 5-1给出了目前常用的几种优化方法的对比情况。

表 5-1 几种常用优化方法的对比结果

方法	优点	缺点
水夹点法	形象、直观、物理意义明确，除了能够确定最小新鲜水流量目标并建立相应用水网络外，还为创造进一步新鲜水节约和废水量最小化提供了指导。针对单杂质用水网络，可以求得最优解。	由于二维图形的限制，使其在解决多杂质水系统集成问题上存在困难，并且无法解决与水质、水量无关的目标或约束，设计过程中主要凭借设计者经验，结果不可靠。
数学规划法	可用于具有多杂质的复杂系统，而且可以通过设定不同的目标及约束条件，使用水网络具有所期望的性质。	由于数学规划法求解过程为黑箱模型，不直观，物理意义不明确，求解依赖于初值的选取，且由于模型多解性，使用者难于控制优化网络的生成。
中间水道技术 ^[24]	简化网络的设计、运行和控制；通过增加中间水道来提高网络的柔性；能够手工计算，不受求解规模的限制；求解简单，易于操作。	针对小规模用水网络，此种方法得到的效果往往不如常规用水网络，往往不能得到全局最优解。
数学规划法与现代算法结合 ^[19]	在单杂质用水网络和多杂质用水网络中均可应用；在建立的数学模型中，可加入其它约束，以便得到最好的结果；求解得到的结果直接是目标函数和相对应的用水网络结构；	设计优化程序时较难

最优结果不依赖于初值的选取；可借助计算机进行运算，求解迅速。

6 预期效果

过程工业是国民经济发展与社会进步的主要经济支柱之一，但我国过程工业在水资源消耗、废水深度处理及重复利用等方面与国外存在较大的差距。如钢铁工业用水量占全国工业用水总量的 20% 以上，废水排放量约占全国废水排放总量的 8%，且企业之间的差距较大，有些落后企业的新水消耗指标要比先进指标高出 10 倍以上；纺织工业废水成分复杂、难于处理、处理成本很高，重复用水率仅为 15% 左右，而国外先进企业的废水重复利用率可达到 50% 以上。

此外，我国在水系统集成优化设计方法、实施程序等方面尚未存在相应的技术标准支撑，从而极大限制了我国节水减排工作的推进。因此，以指导工业节水技术推广应用为主要目的的过程工业水系统集成优化有关共性技术标准具有广阔的应用前景。

6.1 经济效益方面

过程工业水系统集成技术的开发推广和相关标准的实施应用，将促使我国钢铁、纺织等工业行业单位产品取水量下降 8% 左右，废水回用率提高 5%—10%，未来五年预计可节水约 10 亿立方米，约占 2007 年我国工业用水总量的 0.7%。经济效益十分显著。

6.2 社会效益方面

通过本标准的推广应用，可以对资源的高效利用起到规范化和标准化的作用，促进我国资源高效利用技术进步，带动节能环保产业的技术研发以及上下游产业的发展，从而带来明显的社会效益。

6.3 环境效益方面

工业节水技术的开发及应用将减少大量工业废水的排放，大幅降低新鲜水的使用量，在提高资源利用效率的同时，对于保护生态环境，减少污染，建设资源节约型、环境友好型社会，实现可持续发展战略具有重大意义。

7 与国内外同类标准的对比

在过程工业水系统集成优化技术标准方面，我国在工业节水标准体系的指导下，近年来研究制定了一系列工业节水国家标准，如《工业用水节水术语》（GB/T 21534-2008）、《企业水平衡测试通则》（GB/T 12452-2008）、《节水型企业评价导则》（GB/T 7119-2006）、《工业企业产品取水定额编制通则》（GB/T 18820-2002）、《工业循环水冷却设计规范》（GB/T 50102）、《工业循环冷却水处理设计规范》（GB 50050）、《用水单位水计量器具配备和管理通则》（GB 24789-2009）、《企业用水统计通则》（报批稿）等。此外，国内外高等院校、科研机构及有关工业企业在水资源多级利用等方面研发了较多的成果，如水夹点技术、数学规划法等。不过，以节水为主要目的的水系统集成优化技术的研究与应用，尚缺乏相应的共性技术方法标准支撑，严重影响众多先进的节水及废水深度处理的推广应用。

本标准能够填补我国在该领域的空白，具有显著的竞争优势和特色，能够促进我国过程工业水系统集成及废水再生利用技术的推广应用。

8 对实施本标准的建议

本标准的实施需要配套管理措施；建议标准发布实施后，根据标准实施情况适时对本标准进行修订；建议开展与本标准实施相关的科学研究。

9 参考文献

- [1]王建波.浅议工业用水重复利用率[J].中国市场, 2010(26): 130-131
- [2]徐建平. 过程工业用水系统流结构模型与分析[D].广州: 华南理工大学, 2004:2-3
- [3]陈玉琳, 罗智.工业用水网络设计方法分析[J].科技创业月刊, 2008, 21(1): 91-93.
- [4]杨友麒, 庄芹仙. 节水减排的过程系统工程方法[J].现代化工,2008,28(1):8-13
- [5]王辉, 鄢烈祥, 陈玉林等.基于水源-水阱匹配关系约束的用水网络优化方法[C].武汉:中国过程系统工程年会,2008:111-113
- [6]冯霄, 刘永忠, 沈人杰等.水系统集成优化—节水减排的系统综合方法[M].北京: 化学工业出版社, 2008.
- [7] James G.Mann, Y.A.Liude.Industrial Water Reuse and Wasterwater Minimization[M].北京: 高等教育出版社, 1999.
- [8] Wang Y.P., Smith R... Wastewater minimization[J]. Chemical Engineering Science, 1994, 47(7): 981-1006.
- [9] Wang Y., Smith R.. Time pinch analysis[J]. Transactions of International Chemical Engineering. part A. 1995, 73: 905-914.
- [10] Olasen S.O.&Polley S.G.A simple methodology for the design of water networks handling single contaminants[J]. Transactions ofthe Institution ofChemical Engineers, 1997, Part A,75.
- [11]Kuo W. C. J. &Smitl R. . Effluent treatment system design[J]. Chemical Engineering Science. 1997, 52(23): 4273.
- [12] Paul Tripathi. Pinch technology reduces wastewater[J]. Chemical Engineering, 1996, November: 87-90.
- [13] Policy G, Policy H. L. , Design beaer water networks[J]. Chemical Engineering Progress, 2000, February: 47-52.
- [14] Hallale N.A new graphical targeting method for water minimization[J]. Advances in Environmental Research. 2002, 6(3): 377—390.
- [15] Sivabhalini Thevendiraraj, Jiri Klemes.Dora Paz,Gustavo Aso&Geronimo j, Cardenas. Water and wastewater minimisation study er a citrus plant[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2003, 37(3): 227—250.
- [16] Takama N.,Kuriyama T.,Shiroko K.,&Umeda T.Optimal water allocation in a petroleum refinery[J]. Computers&Chemical Engineering, 1980, 4: 251-258.
- [17] Doyle S. J. . &Smith R. . Targeting water t'euse with multiple contaminants[J]. Transactions of International Chemical Engineering. part B, 1997, 75(3): 181-189.
- [18] Alva-Arga'ez A. , Kokossis A. C. , &Smith R. . Automated design of industrial water networks[J]. American Institute of Chemical Engineering Annual Meeting. 1998, Paper 13f. Miami, FL.
- [19] Alva-Arga'ez A. . Kokossis A. C. , &Smith R.Wastewater minimisation of industrial systems using Kn integrated approach[J]. Computers&Chemical Engineering, 1998.22(Suppl.): 741-744.
- [20]Yang Y. H. , Lou H. H. , &Huang Y. L. . Synthesis ofan optimal wastewater reuse network[J]. Waste Management, 2000, 20(4): 311-319。
- [21]胡仰栋, 徐冬梅, 韩方煜, 华贲.逐步线性规划法求解废水最小化问题[J]. 化工学报, 2002, 53(1): 66—71.
- [22] Alva-Arga'ez A. , Vallianatos A, Kokossis A C. A multi-contaminant transshipment model for mass exchange networks and wastewater minimisation problems[J]. Computers and Chemical

Engineering, 1999.23: 1439-1453.

[23]李英,姚平经.水夹点分析与数学规划法相结合的用水网络优化设计[J].化工学报,2004,55(2): 220-225.

[24]穆志君,关欣,刘鹏等.用水网络优化方法的研究进展[J].化工进展,2008,28:5-8.