

推行香港启德发展计划区域供冷系统的挑战

Implementation of District Cooling System (DCS) at Kai Tak Development in Hong Kong and its Challenges

卢兆权高级工程师和吴廷星工程师
中国香港特别行政区政府机电工程署

ABSTRACT (摘要)

空调系统于香港的用电量占总用电量约百分之三十，良好能源效益的空调，既可提高室内舒适度，又可减小用电，此理念已成为现今空调工程的重点。香港启德发展计划区域供冷系统（DCS 系统）是一个实践这可持续发展的系统，启德发展计划内预算供冷面积约有一百七十万平方米，通过使用这 DCS 系统，在所服务启德发展计划内，为不同建筑物提供中央空调冷冻水，这中央供水方式，可优化空调制冷机组效率、节约大厦空间及可便利营运，同时也能提高能源效益及对社会实践对环境保护。本文章将重点对于在香港应用区域供冷的挑战以及相关解决方案进行讨论。

The use of electricity for air-conditioning installations in Hong Kong contributes 30% of total electricity consumption. Energy efficient air-conditioning system for providing comfortable indoor-environment is the vision of air-conditioning engineering. District Cooling System (DCS) at Kai Tak Development is a demonstration project on sustainable development in Hong Kong. With a large scale centralized chiller system, chilled water can be delivered to various buildings in Kai Tak Development with approximately 1,700,000m² air-conditioned floor areas. The benefits of such centralized chilled water supply include optimization of chiller plant efficiency, saving of consumer building space and flexible operation as well as improvement of energy efficiency and improvement of environmental protection. This paper will discuss implementation of the DCS at Kai Tak Development in Hong Kong and its challenges.

1 引言

空调系统在香港的用电量占总用电量约百分之三十，为办公室或其他公共设施提供良好的舒适环境已是一项基本要求。因此，推动社会的节能，提高空调系统的能源效率，此理念已成为现今空调工程的重点。为此，香港正实施一系列用于空调及机电系统设计能源效益的建设。

作为一种良好能源效益的系统，DCS系统方案对新规划地区来说是合适的可持续性发展方案。利用DCS系统，冷冻水能通过敷设在地下的管道从大型中央冷冻机组输送到多个大楼。DCS系统适合于高密度开发区或大型建筑群，这中央运作模式能够相对减少传统建筑冷冻模式的建筑面积及冷冻机的机组设备。

香港启德DCS系统的规划和设计需考虑系统效能和经济效益，通过优化冷冻水的生产、配套和输送管网的设计，从而提高能源效益和经济效益。DCS系统相比于传统的风冷式空调系统和水冷式空调系统能减少35%和20%的能耗，用户同时可享用更高品质和可靠的服务。

除了更好的能源效益，使用DCS系统还能带来其他环保和规划上的好处。例如：

- 减少用水
- 减少碳排放
- 减少区内噪音和振动影响
- 使大楼设计更加灵活
- 优化设备空间
- 减少营运开支
- 增强系统可靠性

设计一个DCS系统方案的时候，设计者需要考虑当地的商业环境和供冷服务的限制，DCS系统的可行性在于很大程度上受到区域情况的制约，例如城市和公用设施规划要求、项目开发计划及潜在的用户和供冷服务营运商等等。作为一种商业化的产品，DCS系统技术面临其他制冷技术的比较，因此成本和经济效益分析是重点考虑。如果能够使用DCS系统能够比使用其他制冷技术更省钱，便使潜在的用户考虑采用DCS系统。

2 香港后德发展区DCS系统简介

后德发展计划中的DCS系统是在香港首次应用的区域的制冷方式。在2008-2009年香港政府施政计划中，一项重要的题目就是通过建造DCS系统来推广能源效益和节能。后德发展计划是一项位于旧后德机场的综合发展项目，其非住宅供冷建筑面积超过一百七十万平方米。该发展专案包括商业零售和办公楼、政府大楼、地铁站、社区大楼、酒店、私人住宅公共房屋和邮轮码头。DCS系统将为后德发展计划中除住宅以外的建筑提供制冷服务。为建成这个创新、高效的节能系统，从2000年开始，陆续完成了可行性研究、系统设计和施工。通过使用海水冷却，使能源消耗进一步降低，另外由于省却了冷却塔，可以腾出更多建筑空间使用。（见图1：后德新发展计划中DCS系统总体规划）

后德发展计划中的DCS系统由两个制冷机设备厂，冷冻水输送管网和用户端的热交换配给站组成。南面的DCS系统制冷机设备厂，又称南厂，位于前南停机坪和跑道的区域提供制冷服务。该设备采用一次变流量系统，并采用海水直接冷却散热。



图 1. 后德新发展计划DCS系统总体规划

北面的DCS系统制冷机设备厂，又称北厂，位于后成街北端毗邻观塘绕道，为后德发展计画内的前北停机坪区域提供制冷服务。与南厂相同，北区的冷机亦采用一次变流量系统，并采用海水直接冷却散热。冷冻水输送管网的主管网由三条埋在地下的环型管道组成。

此DCS系统专案由香港特别行政区政府投资，分三个阶段实施（见图2）。第一阶段主要目标为管网敷设，第二阶段为制冷机组设备房、海水泵房和其他相应的设备的建造，此两阶段分别于2011年2月和2011年3月开始。此两阶段的工程安排在于配合后德发展计画前期专案，包括后德邮轮码头和公屋建设。为了配合后德发展区计画的发展时间表，第一和二阶段的工程已完成，第三阶段的工程已于2013年7月开展，工程包括制冷机组的增容、增加机电设备的安装和管网延伸，第三阶段(组合甲)将于2016年6月完成有关工程。

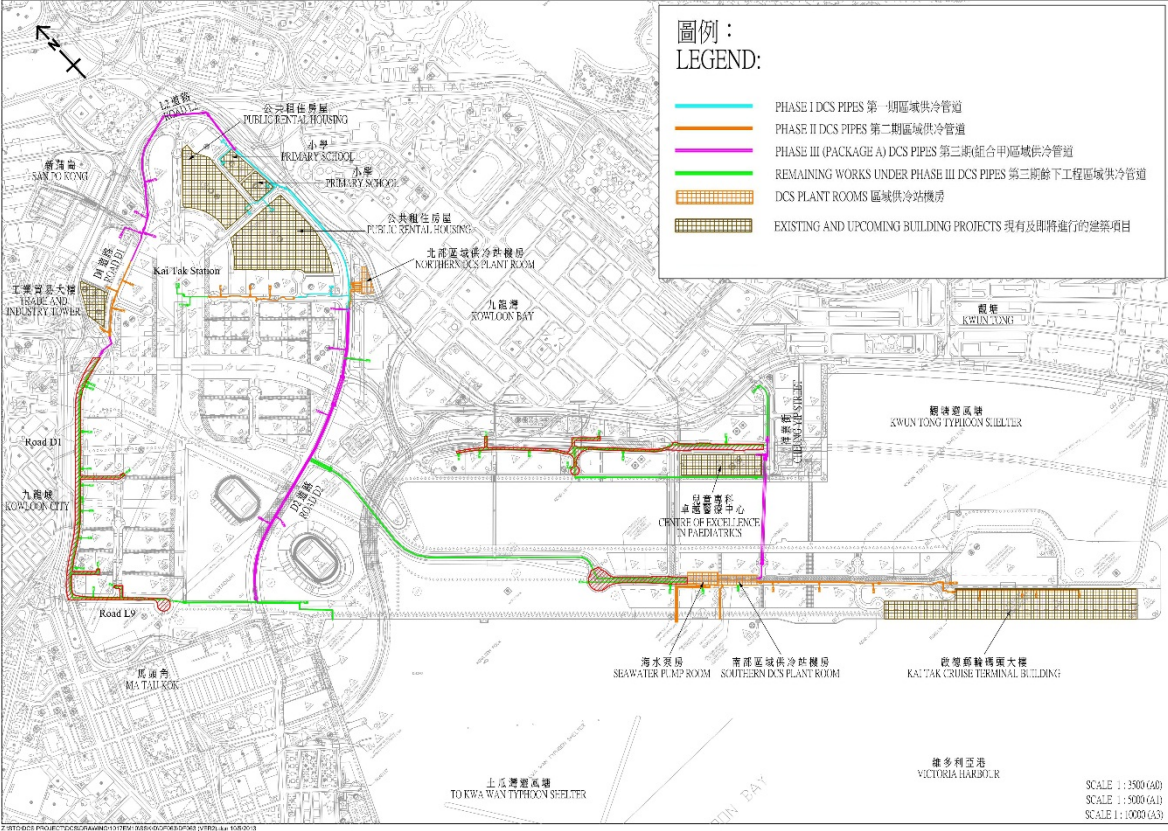


图 2. 后德发展计画DCS系统方案及的环型管道设计

南厂于2013年2月开始投入营运，提供服务予后德邮轮码头。北厂于2013年5月开始投入营运（见图3），提供服务予公共房屋商场。后德发展计画的DCS系统总制冷量为284兆瓦，相比于传统的气冷系统节电量高达35%。预计每年可节省达8,500万度电，相当于减少了59,500公吨的二氧化碳排放。

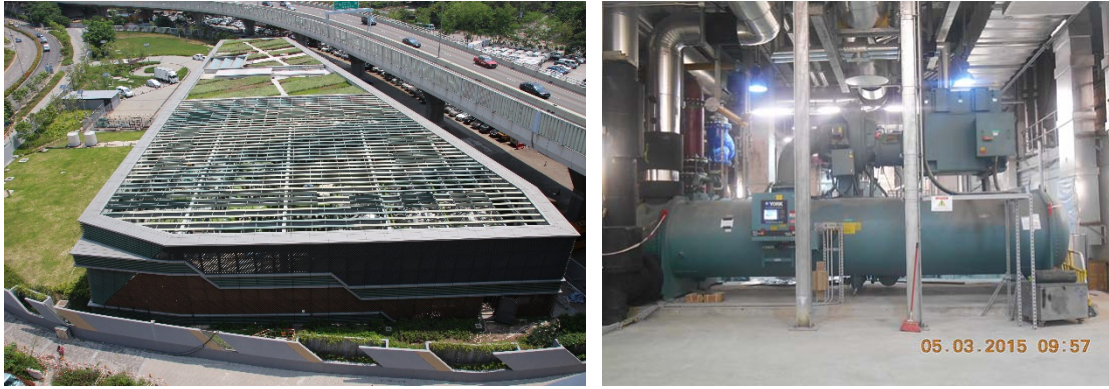


圖 3. 北厂外观和制冷机组安装

3 建设DCS系统中遇到的挑战

尽管在世界各地已经有关于DCS系统的先进经验作参考，但要在香港全面推广DCS系统，仍需克服很多挑战，当中情况简介如下：

3.1 与其他地下基础设施协调

建设DCS系统设备和管道所占用的土地面积和地底空间很大，建造工程会分阶段持续很长时间进行。无可避免的，DCS系统的建设，尤其是冷冻水管和冷凝水管的建设，需要与其他基础设施相互协调（见图4）。即使在未开发的地区，这问题也十分普遍，这就需要一个统一协调规划的方法来提高建设方面的协同性，从而提高建设效率，减少潜在的风险。

当发现了规划中地下管线交叠问题之后，有关的部门需要进行适当的协调以解决问题，使早期的方案设计改善。

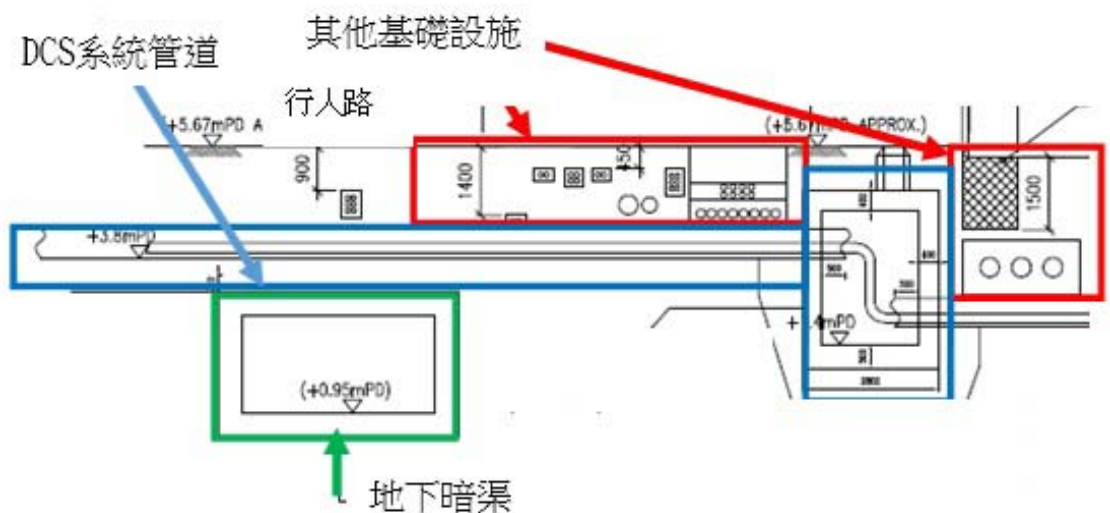


圖 4. 与其他基础设施相互协调

3.2 海水冷凝排放

启德发展计画DCS系统中使用直接海水冷却的方式，即将海水从大海中抽取，直接使用海水作水冷式冷冻水机组散热，再排放回大海。在初期的规划阶段，对此方案进行了深入的评估并通过了环境影响评估。所排放的冷凝水水质标准（包括温度，杀虫剂含量，残留氯含量）也得到了香港特区政府环境保护署（环保署）的认可。通过建立近场和远场数值模型的方法评估了抽取低温海水做冷却后将高温海水排放对环境的影响，一般的温水排放不会使混合区域边缘处的水温比环境水温高于摄氏2度。

近场热流的预测使用的是美国环境保护局开发的CORMIX模型。CORMIX模型能够提供热流的扩散度（热流宽度），稀释度和路径等资讯。远场模型可以提供近场模型所需的边界情况，模型同样考虑了不同的潮汐情况。（见图5）远场模型是通过计算一系列模型得到的，同时对维多利亚港，东部缓冲区，西部缓冲区水质管制区建立了详细模型。

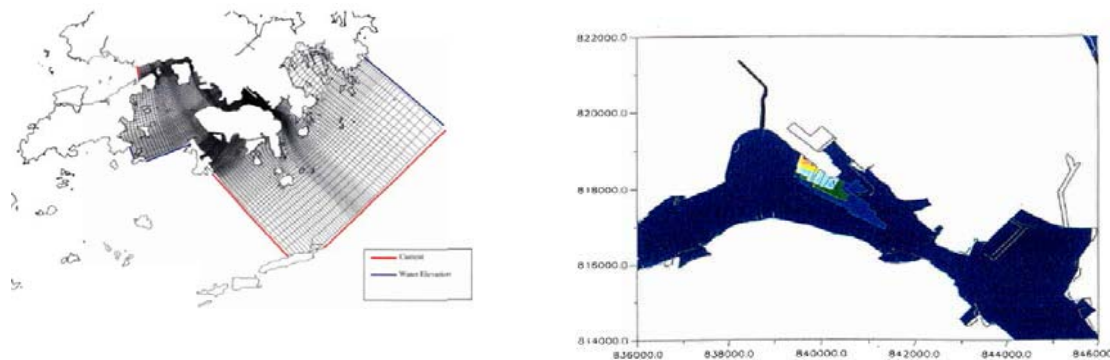


图 5. 建立热能和水质模型以规沿维多利亚港的进出水口位置

水质模型的结果也被用来研究冷凝水排放是否满足海水水质指标，同时在重点区域中选取了部分代表性的测试点，对测试点的水质，温度变化，杀虫剂含量，残留氯等指标进行了统计分析。部分测试点选取在环保署日常监测站，以检查与历史资料相符。进水口与排水口的间隔距离通过建立模型计算得到，以避免进水排水短路。

3.3 敷设管道面临的挑战

在管道施工敷设中，同时采用了基坑施工法和非开挖敷管技术，非开挖敷管技术主要用于由于场地限制而无法进行基坑施工的地区，此方法能减少对公众的影响。

非开挖敷管法使用泥水平衡式顶管及隧道掘进机（TBM）进行施工，TBM对周围环境造成的影响较小，施工进度快，并能挖出光滑的隧道表面，同时，根据钻头的大小，工地现场需要为顶管井和接管井留出空间（见图6），除此之外，现场还需要为沉淀物/污泥处理池和TBM维护，控制室和沉淀物/污泥的运输和存放留出空间，施工作业所需场地大，设备复杂而提高成本。



图 6. 在复杂地区用顶管技术及隧道掘进机敷设DCS系统管道

3.4 管道隔热的采用

DCS系统的管道工程涵盖大规模的地下管网，因此管道的吸热将对系统能源效益和系统经济效益造成影响。地下管道的吸热量取决于管道的种类、隔热层厚度和热工属性、管道直径、冷冻水温度和环境温度。为了得到最佳的隔热层厚度，设计师对不同隔热层厚度的花费和该厚度下减少吸热而产生的效益进行了计算，并最终确定使用65公分厚的工厂预制隔热材料，所有必要的组件均采用工厂预制，这样不仅能有效控制工艺品质，同时减小材料损耗，也能减少现场安装时间。

3.5 使用渗漏监测系统

由于大部份管道藏在地下，因此监控系统需要检查管道的使用情况，并能够对可能的渗漏作出早期的预警。DCS系统管网安装了渗漏监测系统，能在发现管道渗漏后，第一时间对管道进行修复。这套系统同时也能向营运者提供预警，并能对管路运行情况/system层面的监控。由于渗漏监测系统具有可定位性，因此能将渗漏点锁定在小段的范围内，同时渗漏监测的敏感度必须可调，以适应现场实际情况。感测器线缆已在工厂内和隔热材料一起安装在预制管道上，以保证工艺品质。

3.6 DCS系统测试和调试

对于DCS系统大型网络式输冷冻水系统，测试和调试在系统长期的日常运行和节能中扮演着重要角色。在测试和调试中需要采用系统的方法以保证每个元件都在其设计性能下运行，同时整个系统能在最高的能效状态下运行。系统的测试与调试计画中包括以下三个范畴：

3.6.1 元件和机组测试和调试 - 子系统元件规格书规定了元件的品质要求，功能要求和使用寿命要求，这些因素都应在建造和厂家元件测试时进行检查。对一般设备都会在现场安装之后进行检查以保证在运输途中设备没有损坏。对重要设备，如制冷机，则需要在运输前进行厂内接受度测试（FAT）以保证性能满足需要。

3.6.2 DCS系统管路工程测试和调试 - 如制冷机、水泵、管道等组件和子系统运抵及安装之后，将会由有经验的工程师对其进行检查，一系列针对连接后整体功能的测试也会根据规格书的要求展开。



图 7. DCS系统管道焊接的非破坏性试验

3.6.3 整体系统测试 - 这主要针对整个DCS系统进行功能测试。这项测试主要检查施工单位的工艺是否达到设计要求。对系统的容错性，包括设备损坏，部分管路爆裂等进行核实。



图 8. DCS系统管路水压测试和嵌入式渗漏监测电缆测试

4 总结

香港政府推行区域供冷系统(DCS系统)，对环保、舒适度、运营效率、能源转化、规划灵活性和系统可靠性方面带来了许多好处。在启德新发展计画中使用DCS系统也实践了香港政府对于落实上述概念的决心和承诺，然而整个规划，设计、建造和营运的过程中经历不少挑战和建造技术的困难，灵活运用建造技术及勇于创新是DCS系统得以成功的关键。长远来看，DCS系统如果在香港广泛使用，将在香港能源效益和减碳行动中扮演重要角色，并在建筑业领域推广更多的创新技术。

参考文献

- [1] Electrical and Mechanical Services Department (2013). *Hong Kong Energy End-Use Data 2013*, Hong Kong
- [2] Arup (2003). *Reports for Implementation Study for a District Cooling System at South East Kowloon Development*. Hong Kong
- [3] Arup (2007). *Initial Engineering Design and Contract Formulation for Kai Tak Development District Cooling System - Investigation*. Hong Kong
- [4] EMSD, *Design-Build-Operate a District Cooling System (Phase II Works) at Kai Tak Development*. Hong Kong
- [5] Lo, S.K. et al. (2011). *Engineering Design for Power Supply to District Cooling System, The 29th Annual Symposium of The Hong Kong Institution of Engineers - Electrical Division*. Hong Kong
- [6] International District Energy Association (2008). *District Cooling Best Practice Guide First Edition*. USA
- [7] International Energy Agency (2004). *District Heating and Cooling Connection Handbook*. France
- [8] ASHRAE (2013). *District Cooling Guide*. USA
- [9] 老子扬工程师、刘贵平工程师和卢敬贤工程师 (在香港应用区域制冷系统所面临的挑战(2014))

作者简介

卢兆权高级工程师

卢工程师现任职香港特别行政区政府机电工程署，主要负责香港特别行政区政府能源效益事务，專责香港后德发展计划区域供冷系统的总专案管理及技术支援。

吴廷星工程师

吴工程师现任职香港特别行政区政府机电工程署，毕业于屋宇装备工程系学士及土木工程系环境工程硕士，并取得香港工程师会员资格，他在特区政府机电工程署工作二十多年，主要负责建筑及机电工程项目管理。近年负责香港后德发展计划区域供冷系统的工程管理。