

编者按语

厉明祥是原机械工业部教授级高级工程师,中国农机总公司副总工程师兼排灌处处长,长期从事排灌机械科研设计、生产组织工作,并主持设计2.8m、3.0m、4.0m、4.5m四个型号的大型轴流泵,为我国排灌机械事业作出了重大贡献。曾考察荷兰、德国、奥地利、瑞典等10多个国家的20多个大型泵生产企业及泵站,收集了大量的先进技术资料。南水北调工程正式开工,激发了他为祖国的水利事业再作贡献的热情,挥笔撰写了此文。现将此文介绍给大家,希望引起有关方面的关注,欢迎广大科技工作者参与讨论。

南水北调大型泵结构设计研究

厉明祥

(原机械工业部,北京 100036)

摘要:值此南水北调工程正式开工,回顾了我国大型泵的发展历史;介绍了国外典型大型泵的结构,具有转速高、齿轮传动,配套电机体积小,泵站建设总投资少等优点;阐述了吸取国外先进经验改进我国大型泵结构设计的必要性及可行性;提出要加大科研力度,使大型泵设计实现第二次革命,推动排灌事业的发展。

关键词:南水北调;泵;结构;设计

文献标识码:A **文章编号:**1005-6254(2003)03-0001-06

0 引言

如果说20世纪石油是全世界人类关注的焦点。那么21世纪解决水资源问题应是全世界头等重要的大事了。我国北方缺水是多年来急切要解决的大问题。国务院于2002年12月27日宣布,我国南水北调工程正式开工。南水北调就是要将长江的水分东、中、西三条线路调到北方缺水地区,解决河南、河北、天津、北京等地的人民生活 and 工业用水。

我国现有180多座大泵站,800余台叶轮直径为1.6m以上的大型泵,98%的结构设计是机泵同轴直联传动方式,肘形进水流道、虹吸出水流道、真空破坏阀断流停机或肘型进水流道,水平出水流道加拍门断流停机。这种结构设计的电机体积比水泵大,重量比水泵重。不但造成动力机比主机大,比主机重,价格比水泵高的现象,而且与之配套的泵房高大、水工建筑工程量大,建设投资额大。我国大型泵典型结构设计,见图1。

目前,全国具有大型泵生产能力的工厂有4~5家,生产的图纸还是20世纪60年代机械工业部

下达的科研课题,研究设计的几种泵型的图纸和一系列的水力模型。近年来江苏大学流体机械研究中心设计的几个水力性能比较好的水力模型,还没有用于生产。

根据东线调水规划,共设置13个梯级,总扬程65m,新建泵站51座,分三期建设,三期共需叶轮直径3m左右的大型泵260台,总装机容量50.8万kW。其中第一期工程98台19.9万kW;第二期49台,9.9万kW;第三期113台21.0万kW。总投资112.24亿元人民币。这些新建泵站、大型泵是使用老设计、老产品,还是加大科技投入,更新设计、改进产品,赶超国际先进水平,建设投资少、能耗底、效率高的新型泵站。这不仅关系到工程的投资多少、效率高低,而且关系到我国排灌事业发展,也是排灌行业广大管理人员、科技工作者关心的问题。那么,大型泵结构设计要不要改进,如何改,从何处着手,值得探讨。

1 我国大型泵的发展及存在问题

我国大型泵的研究设计是从1965年开始纳入国家计划的,由当时的农业机械部组织了中国农

作者简介:厉明祥(1932-),男,上海市人,教授级高级工程师,主要从事排灌机械行业的规划、科研设计、生产组织工作。

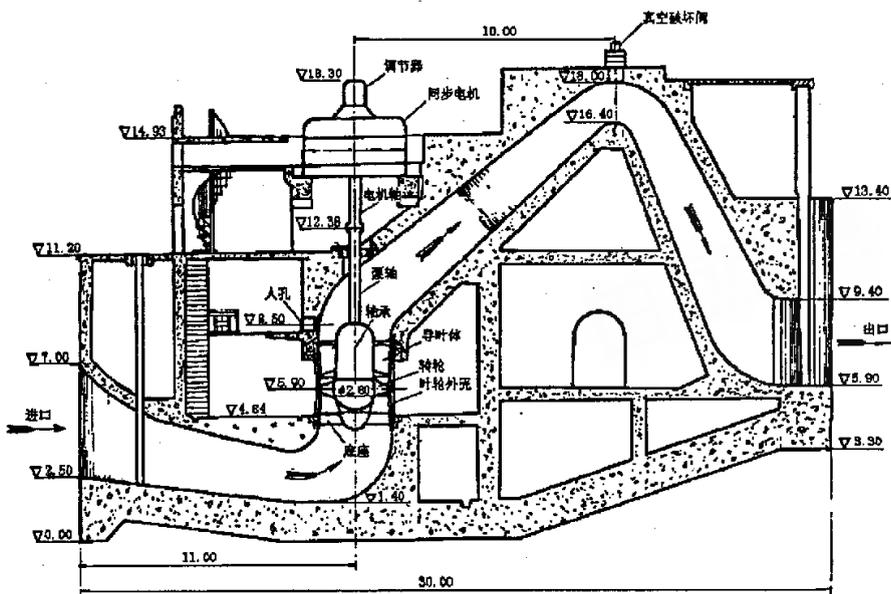


图1 我国大型泵典型结构设计

机研究院、福建、江苏农机研究所、镇江农机学院（现江苏大学）和无锡、武汉、蚌埠水泵厂等单位的十余名技术人员组成的设计组承担研究设计工作。

第一台大型泵的叶轮直径为3m，流量为18m³/s，扬程为3m，泵转速为105r/min，功率为800kW。结构设计是立式轴流，卧式电机，齿轮箱传动。共2台，1969年成功地安装在江苏省东台市安丰抽水站。

1970年，第二批叶轮直径为2.8m，流量为21m³/s，扬程为5.6m，泵转速为150r/min大型泵诞生，共6台，安装在湖北沉湖泵站。

1975年，叶轮直径为4m、4.5m两种大型泵，成功投入运行。4m泵的电机功率为6000kW，4.5m泵的电机功率为5000kW。4台4m泵安装在湖北樊口；2台4.5m泵，安装在江苏淮安。

此间，陆续建成了江都水利枢纽4个泵站，轴流泵叶轮直径为1.6~3.1m，共33台。

目前最大的泵是叶轮直径6m，电机功率为7000kW，共2台，安装在江苏皂河。

30多年来，在我国湖北、江苏、安徽、湖南、新疆等16个省市建成1.6m以上的大型泵站180余座，安装大型泵800余台。这一大批大型泵站的建成并成功运行，加上与之配套的水利工程，为我国大面积抗旱排涝发挥了巨大作用。取得了巨大

的社会效益和经济效益，也为今日南水北调东线调水新建大型泵站打下了基础。

这些大型泵站，除第一台江苏省东台市安丰抽水站3m泵和1979年投入使用的广东省斗门抽水站3m泵，是卧式电机、齿轮箱传动外，其它的结构设计全都是立式轴流，机泵同轴直联传动。机泵同轴直联的结构设计，带来了大水泵、大电机、电机比水泵还大，价格比水泵还高的问题。由此又导致泵房的高大和水工建筑工程量加大的另一问题。此外，大型泵的能耗、效率与国外同类产品相比还有很大差距。因此，南水北调工程新建的大型泵站，应采用新的结构设计，减少机组造价，降低厂房高度，缩小厂房面积，从而减少建设泵站的总投资。同时应做到机组运行效率高，另部件寿命长和更便于操作和维修。

2 国外几种典型大型泵的结构设计

整理考察荷兰、德国、奥地利、瑞典等10多个国家的20多个大型泵生产企业及泵站搜集的大量技术资料。介绍几种典型大型泵的结构设计，为改进我国大型泵的结构设计作参考。

2.1 荷兰、日本的大型潜水泵及斜式泵

荷兰艾莫伊登排水站用的卧式大型潜水电泵，见图2。该泵叶轮直径为3.94m，扬程为1.2m时最大流量为37.5m³/s，泵转速为64.3r/min，

电动机的输出功率为 950kW，装置效率较高。电动机安装在泵体中，用行星齿轮减速器传动。泵的总长为 6.83m，外径为 5m。钢板焊接的外壳。检修时，可以将整台泵吊上来送到附近的维修车间，无需排空泵流道内的积水。上面没有建造厂房，而是活动水泥盖板，需要时把水泥盖板吊开。

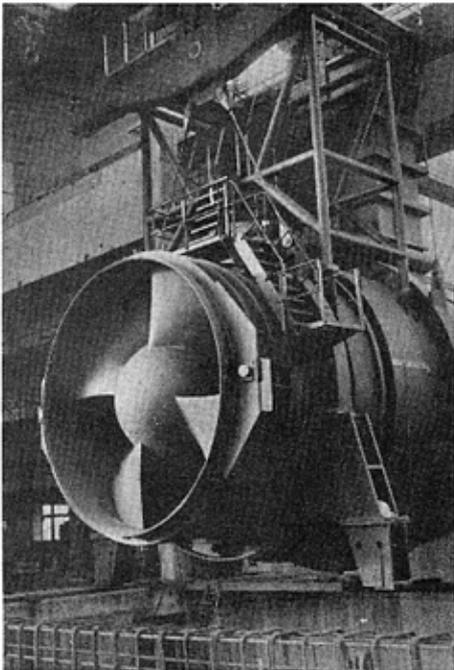


图2 荷兰艾莫伊登排水站卧式大型潜水电泵

与这种泵结构设计基本相同的大型潜水泵，还有日本荏原制作所为该国新川河排水站设计制造的口径为 4.2m 卧式全调节轴流泵。该泵流量为 40m³/s，扬程为 2.6m，转速为 68r/min，电机功率为 1300kW，电机转速为 1000r/min，泵效率最高达 90%。泵壳最大直径为 5.6m，配套电机安装在水泵壳体中，行星齿轮减速器传动。由于整台泵安装在水下，电机和齿轮箱中的润滑油均得到很好的冷却，提高了运行效率。

荷兰的另一种斜着安装的泵，故称其为斜式泵，该泵叶轮直径为 3m，流量为 10m³/s。齿轮减速器减速，以减小电机体积，见图3。

2.2 日本涡壳式斜流泵

日本荏原制作所为外郭放水路排水机场设计制造的4台大型立式涡壳式斜流泵，见图4。叶轮直径约 3.76m。流量为 50m³/s、扬程为 14m、转速为 145r/min、效率达 87%。电机功率为 1.03

万 kW。比转速为 517。该涡壳式斜流泵的优点是轴向尺寸很短，由于是齿轮箱减速，去掉了庞大的同步电机。设想若用 1.03 万 kW、145r/min 的大电机，它的直径至少在 8 m 以上，重量 230t，价格比水泵要高得多。

这种泵型另一个优点就是把齿轮箱移开，整台泵可以从厂房上面吊出去进行维修。由于不用大电机，维修用的吊车的吨位降低了。

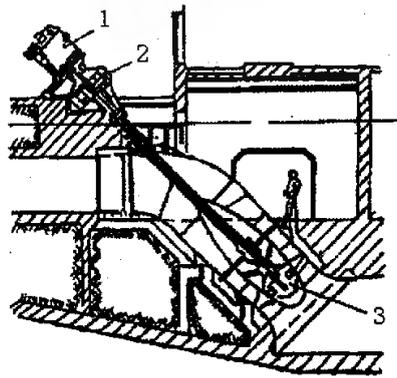


图3 荷兰斜式泵

- 1. 电机 2. 齿轮箱 3. 水泵

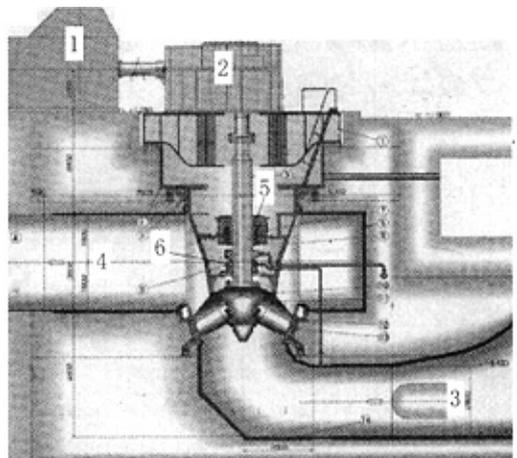


图4 日本外郭放水路排水机场泵站剖面图

- 1. 电动机 2. 齿轮减速器 3. 进水流道 4. 出水流道
- 5. 导轴承 6. 密封机技术

2.3 意大利卧式轴流泵

意大利里乏-卡尔松 RIVA CALZONI 公司制造的全调节卧式轴流泵。该泵叶轮直径约 2.8m，流量为 13m³/s，扬程为 2.3m，500kW 卧式电机，

齿轮减速；导叶体、叶轮外壳设计成水平中开式。检修时可将泵轴、叶轮等另部件整体水平吊出。进、出水流道为平进平出。机械式开、关出口拍门，出口还设有一道闸门，见图5。

利尔灌溉泵站共装9台这样大的泵。厂房面积小，建站成本低，装置效率高。从图中可以看出电机、齿轮箱和水泵之间所占的比例是比较小的，厂房和水工相对也缩小了。

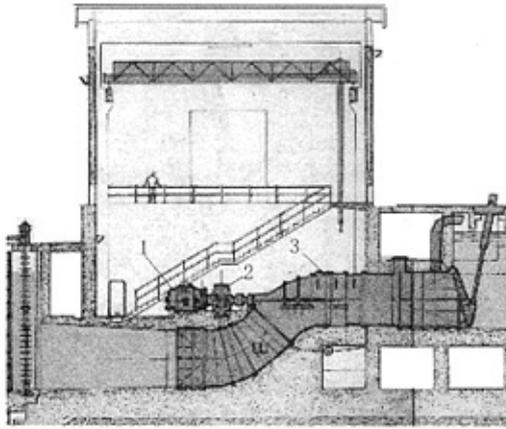


图5 意大利卧式轴流泵

1. 电机 2. 齿轮箱 3. 水泵

3 国外大型泵的三大优点

以上列举的三个国家四种结构的大型泵，是国外用得最多的，也是最先进的。与我国的大

型泵进行比较，这些国家的大型泵具有三大共同的优点。见表1。

3.1 水泵转速高、体积小

荷兰已建成600多个大型泵站，安装口径为1.2m以上大型泵2400多台，其大泵的特点是转速高，一般是我们的1.5~2.0倍；出水量大，在口径同等的情况下荷兰一台水泵的出水量是我国的1.5倍，如荷兰口径为1.3m的水泵相当我国口径为1.6m的出水量。日本、奥地利、意大利等国的水泵也都有同样的特点。这样，水泵要达到同样的性能，外国的大型泵的体积小、重量轻，一般轻35.40%。如荷兰1.8m的水泵与我们2.8m的水泵两者性能相同，但前者的重量为23.1t，后者的重量为48t，相差一倍多。

3.2 用齿轮传动，配套电机体积小

荷兰、日本等国的绝大多数大型泵，在水泵和电机之间加齿轮变速箱，配套电机体积小。如荷兰口径为3.6m的卧式水泵，采用齿轮变速传动的结构设计。与其配套的是高速电机，电机直径只有1.2m，电机和齿轮箱的总重是15t。如这台水泵用直联传动，其电机直径将由1.2m增加到6.1m，比用齿轮增大4倍。重量由15t增加到49t，增加3.2倍。我国淮安二站，其结构设计是机泵直联传动，配套5000kW电机，转速为100r/min，直径为7m，重量为180t，若用齿轮变速传动结构设计，把电机的转速由100r/min提高到1000r/min，电机的直径将由7m缩小到2.4m，缩小2.9倍，重量由180t下降到18t，再加上齿轮箱重量45t。总重有只有63t。

表1 中外大型泵性能、机泵配套重量对比表

国别	叶轮直径 (m)	流量 (m ³ /s)	扬程 (m)	转速 (r/min)	功率 (kW)	比转速	电机转速 (r/min)	泵重量 (t)	齿轮箱重 (t)	电机重 (t)	总重量 (t)
中国	1540	8.0	7.0	250	800	500	250	17.6		15.2	32.8
荷兰	1330	8.7	7.7	400	900	1000	1000	13.4	8.0	7.3	28.7
中国	2000	13.5	8.0	250	1600	700	250	35.0		42.0	77.0
荷兰	1620	15.0	11.0	394	2200	1000	1000	17.7	10.0	9.2	36.9
中国	2800	21.0	5.6	150	1600	700	150	48.0		42.0	90.0
荷兰	1840	20.0	11.4	353	1100	1000	1000	23.1	10.0	8.0	41.0
中国	3100	30.0	7.0	150	3000	700	150	55.0		44.5	99.5
奥地利	2600	30.0	8.0	181	3200	765	1000	30.0	12.0	12.2	54.2
中国	4000	55.0	9.5	107	6000	500	107	140.0		180.0	320.0
荷兰	3200	55.0	9.5	141	6000	1000	1000	80.0	45.0	21.0	146.0
中国	4500	60.0	7.0	100	5000	700	100	180.0		160.0	340.0
荷兰	3800	60.0	7.0	116	5000	1000	1000	85.0	45.0	18.0	148.0

3.3 泵站建设总投资少

荷兰、日本等国家共同的特点是水泵型式多,有立式、卧式、也有泵同轴直联形式。水泵结构设计的不同,泵站厂房也小了很多。如荷兰口径3.6m水泵的泵站厂房总高度是20m,而我国口径3m的水泵,泵站厂房总高度近30m。泵房和土工建筑工程小,使得建设泵站的总投资少了。

4 实现大型泵设计的第二次革命

4.1 大泵结构改进设计势在必行

分析我国大型泵结构设计存在的问题及与国外大型泵的差距,国外大型泵的三大优点,也正是我国大型泵结构设计存在的三大问题。核心是机泵同轴直联传动、结构设计单一和由此引起的泵房的高大和土工建筑工程量大的问题。

例如,今年6月招标的南水北调宝应泵站的大型泵与本文中的日本涡壳式斜流泵相比,日本:流量为 $50.0\text{m}^3/\text{s}$,扬程为14.0m,转速为145r/min,比转速517,功率为1.03万kW。宝应:流量为 $33.4\text{m}^3/\text{s}$,扬程为7.6m,转速为125r/min,比转速575,功率为3400kW。两者比转速差不多,均属斜流泵,日本1.03万kW可用齿轮箱,我们才3400kW用齿轮箱更不应有问题。再说日本的结构设计是涡壳式,而宝应站还是肘型进水流道,虹吸出水流道的老结构。两者相比就厂房而言日本的就小1/3还多,价值几何!

当前,我国大型泵结构设计已经到了非改不可的时候了,南水北调工程正式开工,改进大型泵结构设计将为国家节省大量投资。设想,将工程51座泵站,260台大型泵的结构设计做一番大的改革。采用齿轮减速机构,再研究设计一批新的抗汽蚀性能好的水力模型。使之在叶轮直径相同的情况下,出水量提高30%是完全可以做得到的。原规划设计用260台大型泵,改用新水力模型、新的结构设计,只需200台就可以了。如果51座泵站总投资是112.24亿元,按节省25%计算,就可少化费28.06亿元。这是个多么吸引人的数字!

现在情况是全国大型泵生产厂家一般不搞新模型和新结构的研究设计,最多是在老的模型上做些改进。水利部门需要建泵站,也就只好在现生产的泵型中选型。然后以招标的方式发出标书,各工厂竞标。竞标的最高价和最低价之差,就是建泵站所节省的费用,这比改进大型泵结构

设计所节省的费用要低得多。

改进大型泵结构设计不仅节省建设工程的费用,高效率的新型泵站将会大幅度地降低运行成本,长期的经济效益十分巨大。

4.2 加大科研力度是重中之重

如果说1965年靠我们自己的力量成功地设计试制叶轮直径3m的齿轮传动的大型泵,那是一次成功的设计革命,那么第二次大型泵设计革命就从南水北调泵站开始。

改进大型泵结构设计必须加大科研力度。设想,从改进结构设计后可以节省的28.06亿元中,拿出0.5亿元作为科研经费,支出的科研资金不足建设泵站总投资112.24亿元的0.5%。国外的投资者往往拿出大量资金,投入有实力的研究机构,进行科研开发,即投资者买断此项技术进行批量生产。

建议,集中国内专家,从51个泵站中选出高、中、低三个档次扬程的泵站,作为大型泵设计革命的试点站。选择2~3个研究院、所做好以下科研工作:

1) 研究系列水力模型,特别是比转速为1000、1200和1400的三个模型,使其出水量提高30%左右。以适应南水北调全线扬程低、流量大的特点。

2) 研究大功率齿轮变速器,包括行星齿轮、圆锥齿轮和圆柱齿轮。

3) 研究叶片调节机构,包括液压式、机械式。

4) 研究关键零部件,包括水、油润滑轴承、机械密封机构及出口断流用的大型拍门等。

而今我国科学技术水平远比1965年发达,在水利部门组织协调下,上面所列举的科研课题一定能如愿完成。我国大型泵制造技术赶超国际先进水平,指日可待。

参考文献:

- [1] 一机部机械院农机所. 农机情报资料[Z]. 1975(11).
- [2] 日本荏原制作所. エバラ时报[N]. 2001, 7(192).
- [3] 一机部考察组. 赴荷兰和奥地利考察大泵、水轮机的综合报告. 1975, 12.
- [4] 钱均等. 现代化大型泵站与南水北调工程的设计与研究[J]. 排灌机械, 2003(2): 1~6.
- [5] 施卫东, 等. 与时俱进 再创辉煌[J]. 排灌机械, 2002, 20(6): 3~6.

(下转第22页)

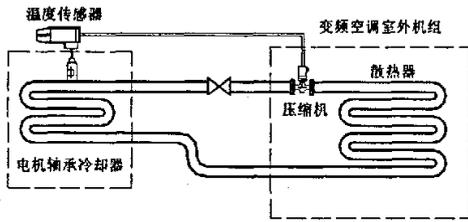


图 3

在电机轴承油中安装温度传感器，用于控制室外机组运行。室外机组最好选择变频机组。冷却机组的功率可以按照泵站主电机轴承损耗选择（该参数由电机提供）。为节约电能每台主电机可以设置一台室外机组。可以减少其它机组不运行时的浪费。介质更换法优点是，很大程度解决轴承的散热问题。并保证电机油冷却器的实现恒温。技术比较成熟，节约能源，自动化程度高。缺点

是，一次投资较大，如选用氟利昂作为冷却剂，不利于环保。同样，主水泵的润滑油要通过其它供水系统解决。

3 结束语

泵站供水系统是泵站的辅助系统，但对机组安全运行起到关键作用。特别是随着泵站自动化程度提高，迫切需要解决供水系统和泵站自动化配合问题。良好的供水系统设计，可以得到妥善解决。本文对泵站的供水系统提出了一些解决途径。还有许多问题，如排水廊道的热交换能力及温度升高对建筑物的影响、电机油冷却器所能受压力等，需在实际工作中进一步探索。

参考文献：

- [1] 高钦. 博斯腾湖东泵站技术供水系统设计[J]. 水泵技术, 2002, 146(4): 41~42.

Several Ways to Ameliorate the Technical Waterworks of Pumping Station

WENG Zhe-hang, ZHANG He-peng

(Department of Luoma lake Irrigation Project Management, Suqian 223800, China)

Abstract: According to the characteristics of the different pumping station, several questions existing in the technical waterworks system of the large pumping station are discussed. Some solution and expatiates on the system structure are put forward. It is practicable and can be used as the reference on the design and the amelioration of the station.

key words: Pumping station; Technical waterworks; Amelioration

(上接第 5 页)

Research on the Structure Design of Large Pump for the South to North Water Transfer Project

LI Ming-xiang

(Department of Mechanical Engineering Industry, Beijing 100036, China)

Abstract: Reviews the development history of large pump in our country. The main structure of large pump in pumping station is introduced. The advantages of large the submersible pump and the milred flow pump abroad are analysed. It also discusses the necessity and feasibility to improve the domestic pump structure and to derive the advanced experience from abroad. To realize the second revolution in pump design and to speed up the development of the irrigation and drainage cause, scientific research should be strengthened.

Key words: South to north water transfer; Pump; Structure; Design