

大型低扬程全地下排涝泵站工艺设计

张 洋

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 龙昆沟北雨水排涝泵站是龙昆沟流域系统治涝方案的重要节点工程, 泵站项目的实施可以有效提高片区的排涝保障能力。泵站规划设计流量为 $80 \text{ m}^3/\text{s}$, 属于特低扬程大流量泵站, 是海南省已建规模最大排涝泵站。从水泵性能、环境影响、工程投资及运行维护等多方面综合比选, 使用湿式全贯流潜水泵, 并采用全地埋式布置型式。经装置模型试验, 扬程范围内泵装置效率较高, 水泵选型可满足泵站安全运行要求。

关键词: 全贯流泵; 水泵机组选型; 泵装置实验; 水泵性能参数; 全地下; 低扬程大流量泵站

中图分类号: TU992.25

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)05-0148-04

Process Design of Large-sized Full Underground Drainage Pumping Station with Low Head

ZHANG Yang

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: The Longkungou North Rainwater Drainage Pumping Station is an important node project in the flood control and waterlogging drainage scheme for the Longkungou River Basin. The implementation of the pumping station project can effectively improve the waterlogging drainage capabilities of the area. The planned design flow of the pumping station is $80 \text{ m}^3/\text{s}$, belonging to the pumping station with low head and large flow. And the pumping station is the built waterlogging drainage pumping station with the largest waterlogging drainage capacity in Hainan Province. The pump performances, environmental effect, engineering investment, operation, maintenance and other aspects are comprehensively compared and selected. The wet full-flow submersible pump is used with the fully underground layout type. The pump unit efficiency within the range of head is higher through the unit modelling test. The selection of the pump type can meet the safe operation requirements of the pumping station.

Keywords: full-flow pump; selection of pump units; pump unit test; pump performance parameters; full underground; low head and large flow pumping station

0 引言

龙昆沟是海口市中部地区一条重要的排洪河道, 所在区域地势低洼, 台风期间易出现风暴潮、天文潮和强降雨三碰头的不利情况, 龙昆沟涝水受高潮位顶托容易出现漫溢, 导致龙昆沟流域内积水状况严重。龙昆沟北雨水排涝泵站项目的成功建设, 能有效的缓解龙昆沟流域的排涝压力, 对提高片区内的排涝能力做出重要贡献, 是海南省已建规模最大排涝泵站。泵站项目属于龙昆沟流域系统治涝方案内的重要节点工程、是治理系统末端抵御风暴潮顶托的强排工程、是流域治理的先行工程。

龙昆沟北雨水排涝泵站工程的主要功能是防潮、排涝, 流域现状集雨面积 26.5 km^2 , 泵站规划设计流量为 $80 \text{ m}^3/\text{s}$, 对应内涝防治设计重现期 50 a 一遇, 泵站设计净扬程 0.93 m , 最大净扬程 1.97 m 。同时, 泵站位于海口市中心城区, 为了与周边环境景观协调, 龙昆沟北雨水排涝泵站工程规划采用全地埋式结构, 无上部厂房结构。龙昆沟北雨水排涝泵站的出水侧为入海口, 全地埋式结构叠加海水运行的不利因素下, 对水泵选型的合理性要求更加严格。

水泵选型应从水泵运行稳定性、运行维护管理方便、投资金额较省等多方面综合考虑, 是泵站设计的关键环节, 本文将结合工程实例进行进一步研究。

1 泵型选择

龙昆沟北雨水排涝泵站设计规模为: 设计流量

收稿日期: 2024-05-21

作者简介: 张洋(1991—), 男, 硕士, 工程师, 从事水力机械设计工作。

80 m³/s,运行净扬程范围0~1.97 m,根据流量及运行净扬程范围属于特低扬程大流量泵站。采用常规立式泵机组在特低扬程下运行效率偏低,采用卧式泵装置拥有装置效率高、开挖深度浅,运行维护方便等特点。根据目前已建工程经验,可选用的卧式泵型主要有竖井贯流泵、平面“S”型轴伸泵、潜水贯流泵和湿式全贯流潜水泵。

竖井贯流式机组是在进水流道中设置竖井,并将电机、齿轮箱集中布置于竖井中,竖井两侧进水,直进直出,水流与泵轴方向一致。竖井贯流式机组水力性能较好,具有结构简单、泵站开挖深度不大、机组运行安全、运行管理和维护方便的优点,适用于特低扬程、大流量泵站。由于进水流道中设置了竖井,流道有一定弯曲,对水力性能有一定影响,且由于机组间距较大,泵房占地面积略大。竖井内部空间较小,电机等设备的散热性较差,需另外配置技术供水系统。竖井贯流泵一般采用常规地面厂房结构,如采用全埋地下泵房结构,则电机、齿轮箱等设备的防水、防潮、通风等条件难以满足,给设备安全运行带来隐患(见图1)。

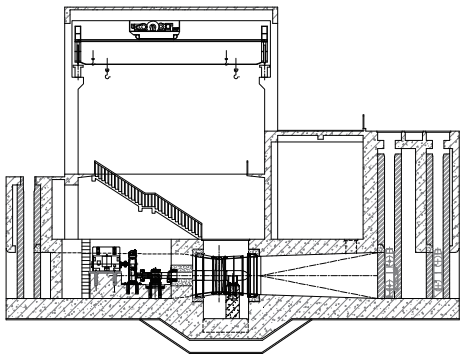


图1 竖井贯流泵布置示意图

“S”型轴伸泵将进、出水流道平面弯曲或立面弯曲后,主轴从流道伸出与电机、齿轮箱联接,不随流道弯折,电动机和齿轮箱均在流道外侧。具有泵房结构简单,维修保养便利等特点。同时采用平面“S”型流道可以减小泵房开挖深度,但是机组间距由于“S”存在比较大,泵房整体占地面积和土建费用比其它型式的贯流泵大;且由于“S”型流道有两个转弯,对水力损失、装置效率有一定的影响,其水力性能也不如其他型式的贯流泵。本泵型采用干式电机,置于泵房地面层水泵旁侧,通常采用高速电机,通过齿轮箱与水泵相连。考虑电机、齿轮箱等设备的防水、防潮、通风等要求,一般采用常规地面泵房结构(见图2)。

潜水贯流泵水泵与电机均水平放置且轴线重

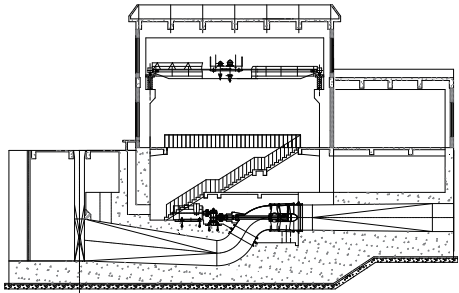


图2 S型轴伸泵布置示意图

合,是整装式机电一体水泵。电机、齿轮箱等设置在灯泡体金属腔内,水流经过灯泡体外壳时可冷却机组,无需额外冷却供水。潜水贯流泵流道平直顺畅,水力损失小,泵组整装一体式体积更小,水泵装置效率高,且泵房土建尺寸小,土建造价更低。在散热、节能、噪音控制等方面都具有优势,适用于特低扬程的泵站。该泵型为装式机电一体式安装,对于大规模泵站,机组的单体重量较大,运输、吊装等方面较为困难,且不能现场拆解机组进行保养维修,设备有故障时需整体运输返厂维修;此泵型由于采用干式潜水电机,密封止水要求高,设备可靠性要求高(见图3)。

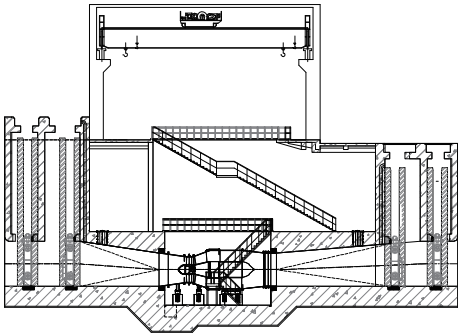


图3 潜水贯流泵布置示意图

湿式全贯流潜水泵其原理是将水泵叶轮安装在电机的转子内腔,把叶片与电机转子的铁芯焊接成一个整体,工作时水流直接流过转子内腔。这种装置不但保持了传统潜水贯流泵结构紧凑水力性能好、直进直出机组运行效率高、淹没运行噪音低、运行稳定振动小、投资造价省的优点,而且采用湿定子结构,绕组不怕水浸,不存在由于渗漏引起电机安全问题,同时还克服了传统潜水贯流泵机组热量高、散热难、易渗漏等难题,大大提高了潜水电泵的安全可靠性。另外,其轴向尺寸相较常规潜水贯流泵,尺寸大小缩短一半,整体重量更轻、尺寸更小,可实现快速自耦合安装,运行管理方便,可简化泵站结构,节省工程占地面积和投资。这种泵型特别适合低扬程、大流量泵站,目前国内防洪排涝泵站中得到越来越多的应用(见图4)。

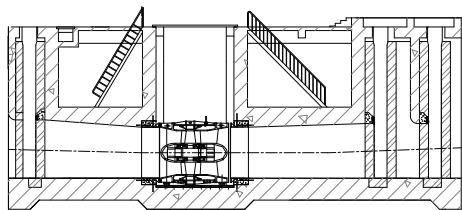


图4 湿式全贯流泵布置示意图

经综合比较,该工程泵站选址位置纵向空间较为狭窄,湿式全贯流潜水泵方案泵房结构简单,占地面积小,非常适用于该工程布置,且湿式全贯流水泵设备长度短,整体重量轻,设备的运输和安装都较方便简单,工程整体投资比较节省。采用湿坑导轨安装方式,安装和运行维护管理方便即使在泵站遭遇较极端水淹的情况下机组仍可正常运行;泵装置效率高,机组噪声低,振动小,对周围环境影响较小。综上,该工程推荐采用湿式全贯流潜水泵。

2 主机泵台数比选

根据工程实践经验,主机泵台数少,泵房占地面积小,施工难度低,适用于建设场地较紧张的工程项目,可节省泵站的土建投资,机组设备安装及维修工作量少,维护成本更低,而缺点是运行泵站调度不灵活,单台机组能否正常运行对总泵站排涝能力影响较大,同时单机电机功率高,水泵电机启动时对主变冲击较大。若机组台数多,则上述优缺点与表述恰好相反,主机泵台数的确定不仅需要结合工程具体情况的技术经济比较,同时需要结合水泵生产运输综合情况确定。

由于本泵站是排涝泵站,年运行小时数有限,因此不考虑备用泵。该工程主要任务为承担片区内防洪排涝功能,且出水侧为入海口,水位变化较大,进水侧为城市内河涝水来流量不固定,枯水季泵站运行调度需灵活,机组台数不宜太少,因此选择5台机和8台机,对经济性及技术可行性进行比较,主机泵各参数和水工结构主要尺寸见表1。

由上表可知,装机5台水泵叶轮直径为2.25 m,8台方案水泵叶轮直径为1.54 m,设计制造和运输均是合理可行。主机组的设备、辅机设备和相关的电气自控设备等机组总价格,8台机方案略大,泵房平面尺寸和土建投资也是8台机方案较大,因此从节省工程用地和减小工程总投资方面考虑,采用5台机方案较优。

经上述综合分析,该工程建议采用5台套泵组方案。

表1 不同机组台数方案比较表

比较内容	方案一	方案二
泵型	湿式全贯流潜水泵	
机组台数/台	5	8
单泵设计流量/(m³·s ⁻¹)	16	10
水泵叶轮直径/mm	2 250	1 540
水泵额定转速/(r·min ⁻¹)	145	245
电机转速/(r·min ⁻¹)	145	245
配套电机功率/kW	560	355
全站装机/kW	2 800	2 840
机组总重量/t	42	26
机组间距/m	7.0	6.0
机坑尺寸/m	4.3×6.0	3.2×5.0
站身顺水流向长度/m	25.0	22.0
站身垂直水流总长度/m	37.0	50.0
站身底板顶高程/m	-3.4	-3.0
单台机组价格/万元	480	320
所有机组总价格/万元	2 400	2 560
土建投资/万元	较小	较大

3 泵站结构设计

泵房设计根据选定的泵型和机组的台数进行布置,站身结构采用钢筋混凝土块基结构,整体性好,不均匀沉降较小。泵房进水流道采用方形渐变到圆形的平直管式流道,出水流道采用圆形渐变到方形的平直管式流道,进、出水流道的主要尺寸根据水泵的结构和外形尺寸结合泵房布置确定。顺水流方向:根据进出水流道的长度、泵型的尺寸、安装检修要求以及启闭设备的布置等要求,泵房底板长度确定为25.0 m,垂直水流方向宽度37.0 m。设5台湿式全贯流潜水泵,水泵机组中心距为7.0 m。单向泵进水流道进口宽6.00 m,出水流道出口宽6.00 m。泵房底板底面高程为-5.30 m,站身底板采用直线型厚1.50 m,叶轮中心安装高程-2.40 m。进水流道底板顶面高程为-3.8 m,进水流道进口高度为3.20 m;出水流道底板顶面高程-3.80 m,出口高度3.00 m,上方布置辅机室和电缆间,底板高程均为0.10 m,辅机室顶部为检修平台,顶面高程4.50 m,辅机室和电缆间通过钢梯和上部平台相连。泵房外海侧闸墩顶标高5.0 m,与外河翼墙形成封闭防洪圈,闸墩和检修平台采用台阶顺接,台阶和外海侧闸墩四周设置栏杆。为便于检修,水泵井上方设置玻璃钢盖板(见图5、图6)。

4 水力模型比选及水泵性能参数确定

近年来,沿海地区大型排涝泵站工程大多开展

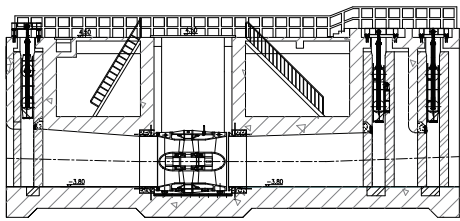


图5 龙昆沟泵站原型全贯流泵剖面布置图

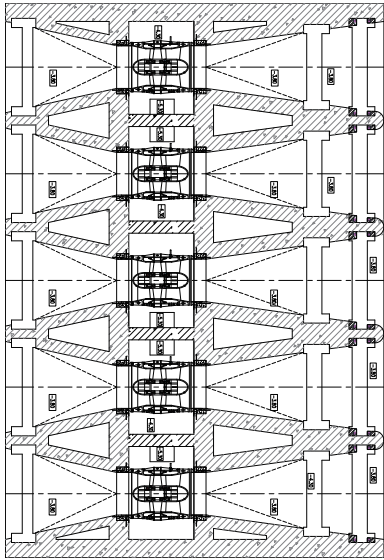


图6 龙昆沟泵站原型全贯流泵平面布置图

了水泵装置模型试验,通过试验结果对水泵运行状态及效率进行了细致的研究。对于相近的大型排涝泵站,可以依据现有的模型水泵装置的性能曲线,以及水泵相似律对模型水泵进行换算,计算出原型水泵叶轮直径、转速等相关参数,计算泵站设计扬程下水泵流量、效率、电机轴功率等水力性能参数。对比以往仅使用泵段模型性能曲线,对原型水泵的性能参数预测更加准确,可以更合理的确定原型泵各项性能参数。

按泵站扬程范围选择接近水泵模型,该工程水力模型选择南水北调天津同台测试 TJ-ZL-07 号,优化了泵站进出水流道线型,并在扬州大学高精度泵站试验台进行了泵装置模型试验,综合确定原型水泵叶轮直径为 2 250 mm,额定转速为 145 r/min。根据模型试验结果:在泵站各工况扬程范围内,水泵均能平稳运行;装置模型运行最高效率为 67.28%,叶片角度为+2°,特征扬程为 2.22 m,流量为 0.273 m³/s。

全贯流泵叶轮外圈与外壳间的间隙误差会导致全贯流泵的计算性能产生影响^[2],对装置模型优化叶轮外圈与叶轮外壳间隙后,经“分部效率换算”^[8],原型水泵装置最高效率为 73.43%,对应流量为 15.3 m³/s,对应扬程 2.16 m,叶片安放角为+2°,图 7 为

原型泵装置性能曲线。各扬程下原型水泵运行参数见表 2。

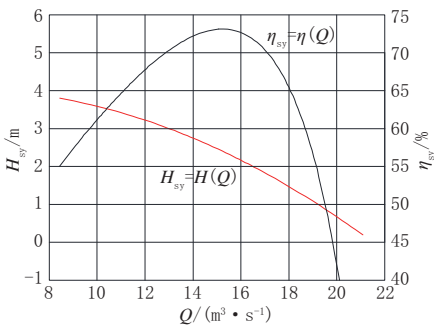


图7 龙昆沟泵站原型全贯流泵性能曲线

表2 原型全贯流泵性能参数表

工况	工作点	净扬程/ m	装置扬程/ m	角度/ (°)	流量/ (m³·s ⁻¹)	效率/ %
1	设计扬程	0.93	1.73	+2	17.28	70.01
2	最大扬程	1.97	2.77	+2	13.82	71.24
3	最小扬程	0.0	0.80	+2	19.77	47.76

原型全贯流泵机组在泵站各特征扬程下运行稳定,设计扬程工况下泵装置效率 70.01%,最大扬程工况下泵装置效率 71.24%。

依据《水泵模型及装置模型验收试验规程》(SL 140—2006)相关规定,流量保持常数,效率下降 1% 空化余量定为临界汽蚀余量。在水泵运行所有工况下,监测临界汽蚀余量为 4.8~6 m,计算所得有效汽蚀余量大于 10 m,汽蚀余量充足,原型泵装置产生汽蚀危害可能性较小。

5 结 语

(1)龙昆沟北雨水排涝泵站属于特低扬程大流量泵站,规划设计排涝流量为 80 m³/s,泵站运行净扬程范围仅 0~1.97 m。泵站底板顺水流长度 25.0 m,垂直水流宽度 37.0 m,为海南省现今规模最大排涝泵站,泵站采用全地理式布置方式并根据多方案对比分析,采用湿式全贯流泵装置。设备的运输和安装方便,工程整体投资较省,泵装置效率高,运行维护管理便利,对周围环境影响较小。

(2)水泵选择 5 台套直径为 2 250 mm、转速为 145 r/min 型湿式全贯流潜水泵,运行调度满足需求,工程设备及总投资价格较省。经过泵装置选型设计,龙昆沟北雨水排涝泵站选择南水北调天津同台测试 TJ-ZL-07 号水力模型,水泵在各工况范围内均能平稳运行,装置效率较高,汽蚀余量充足,能满足泵站安全运行要求。

(下转第 160 页)