齿轮箱传动在泵站中应用分析与选择方法*

张仁田，张平易
(江苏省水利勘测设计研究院有限公司，江苏 扬州 225009)

摘要：对齿轮箱传动在国内外低扬程泵站工程中的应用情况进行了综述和初步分析，提出的不同类型的齿轮箱可运用于不同功能和规模的泵站。根据低扬程泵站工程的特点，提出了选用齿轮箱传动的可靠性、高效性、经济性和运行维护便利性等基本原则，并参照国外的经验提出了齿轮箱选择的方法，可供泵站设计时参考。

关键词：齿轮箱；泵站；应用；选择；方法
中图分类号：TH132.41 **文献标识码**：A **文章编号**：1005-6254(2005)02-0011-05

0 前言

在沿江地区和平原地区将兴建和改造的多座低扬程泵站,其工作扬程均在 10 m 以下，例如南水北调东线工程中的泵站，扬程均在 8 m 以下，而且年运行时间长，在 5 000~8 000 h 之间，因此运行效率和可靠性要求高。为了达到这样的要求，在选择主水泵与原动机(一般为电动机)之间的传动方式时，需要综合考虑各种因素，通过技术经济比较来确定不同型式的泵站和水泵结构是采用直联、还是齿轮减速箱传动的方式[1]。本文对国内、外泵站采用齿轮箱传动的情况进行综述与分析，根据低扬程泵站的特点提出传动方式的选择基本原则和齿轮箱传动的选择方法。

1 齿轮箱传动在泵站中的应用情况

齿轮箱传动作为不同转速旋转机械之间的一种连接方式，在不同的机械行业得到广泛应用，包括航空航天、电力能源、船舶运输、化学化工、军事等领域。尽管不同领域对齿轮箱传动有不同的要求，但其关键在于齿轮箱的可靠性、效率、噪音及使用寿命等，促使其广泛应用的是加工技术的迅速提高。在水泵传动中，尤其是大、中型低扬程水泵的传动，采用齿轮箱减速传动是逐步发展起来的。国内在 20 世纪 70 年代尝试在立式机组上采用伞型齿轮箱进行传动、20 世纪 80 年代采用平行轴齿轮箱进行卧式机组的减速传动，但由于当时齿轮箱的加工水平低，致使齿轮箱效率低、噪音大、使用寿命短，从而影响了齿轮箱的推广运用。而在西方发达国家，由于机械加工水平成熟，不同型式的齿轮箱加工工艺精湛，完全能够满足泵站的运行要求，而且成本低，所以从 20 世纪 60 年代开始就在泵站中得到应用。国内从 90 年代初期随着对外开放、新技术的引进，促进了加工水平的迅猛提高，因此齿轮箱在泵站传动中再次逐步推广应用，尤其是中等规模的平行轴减速齿轮箱加工技术已经日臻成熟。现对国内外大、中型低扬程泵站使用齿轮箱传动的情况按照立式和卧(斜)式分类进行统计分析。

1.1 立式水泵使用齿轮箱传动

立式水泵采用齿轮箱传动有两种情况，一种情况是原动机为柴油机，由于柴油机的转速较高、而且为卧式，因此一般采用伞型减速齿轮箱传动，有时在柴油机和齿轮箱之间再配备液力耦合器(或者将两者进行组合)进行速度调整；另一种情况是原动机为立式高速电动机，则需要采用立式平行轴或行星减速齿轮箱传动。两种情况的关键在于水泵的推力处理，处理方式也有两种，一种是水泵具有独立的推力轴承，另一种是齿轮箱配有推力轴承。具有代表性的立式水泵采用齿轮箱传动的泵站统计如表 1 所列。

1.2 卧(斜)式水泵使用齿轮箱传动

对于卧(斜)式水泵，由于结构尺寸的限制，一直试图采用齿轮箱减速传动以减小原动机的尺

* 2004 年江苏省水利科技重点研究和推广项目
作者简介：张仁田(1964-)，男，江苏建湖人，教授级高级工程师，工学博士。

表 1　立式水泵采用齿轮箱传动的泵站统计表

站名	水泵主要参数					台数	泵型	齿轮箱型式	泵站用途	投运时间
	扬程 (m)	流量 (m^3/s)	转速 (r/min)	功率 (kW)	直径 (mm)					
奥地利 Tullnerfeld	12.8	14.7	265	2115	1900	3	全调节轴流泵	行星	冷却水	1972 年
苏丹 Asalaya	8.7	5.5	380	554	1200	4	半调节轴流泵	平行轴	灌溉	1975 年
埃及 El Wadi	4.85	5.0	315	280	1200	2	半调节轴流泵	平行轴	灌溉	1979 年
奥地利 Du mrohr	8.55	8.0	320	1120	1400	8	全调节轴流泵	平行轴	冷却水	1982 年
德国 Pleinting	11/1 2.5	8.6	325/ 335	1050/ 1195	1500	3	全调节轴流泵	行星	冷却水	1966/73 年
日本 Shinshibakawa	5.71	25.0	95	2700PS	3300	2	混流泵（柴油机）	伞型	雨水	1976 年
日本 Ayasegawa	3.6	50.0	82	3600PS	4600	1	轴流泵（柴油机）	伞型	雨水	
印度 Saurashtra		41.0		4500	5000	26	混凝土蜗壳泵	行星	供水	在建
孟加拉 Bera	8.23	14.2	180	1600	2400	5	混流泵	行星	灌溉排水	
日本 布镰	4.5	2.8	217	165	1200	3	混流泵	行星	排涝	
中国 安丰站	3.15	18.1	150	800	3000	2	轴流泵	伞型	排涝	1975 年

寸，便于设备的布置与安放。例如国内早期建设的小型卧式水力发电机组，包括轴伸式、竖井式等都采用增速齿轮箱传动。20 世纪 90 年代开始研制开发的斜轴式水泵无一例外地采用了齿轮箱传动；对于小型卧式机组也是考虑齿轮箱传动。对于大型灯泡贯流式水泵，在开展的科研工作中都是考虑采用行星齿轮减速箱，但在江苏省淮安三站建设过程中鉴于当时国内的生产技术水平，仍旧采用了直联的传动方式；而国外的贯流式机组基本上全部采用行星齿轮箱传动。典型的卧(斜)式水泵采用齿轮箱传动的情况统计见表 2。

2　不同的齿轮箱传动结构型式

根据水泵的立式与卧(斜)式结构特点以及原动机的安装型式，在立式水泵机组中，当采用卧式原动机时采用伞型齿轮箱(如图 1)，进行 90°方向改变；当采用立式高速电动机时，采用平行轴和行星齿轮箱传动，其结构见图 2 和图 3，在行星齿轮箱结构中将推力轴承与齿轮箱组合成整体。

对于卧(斜)式水泵，当原动机亦卧(斜)式布置时，可以采用卧式平行轴和行星减速齿轮箱，早期的齿轮箱与推力轴承相分离，近期亦将推力轴承与齿轮箱结合为整体，采用平行轴和行星齿轮箱的结构如图 4 和图 5 所示。如果原动机需要立式布置，则也需要采用伞型齿轮箱进行方向的改变，如图 6 所示，这种型式仅用于中、小型机组[2]。

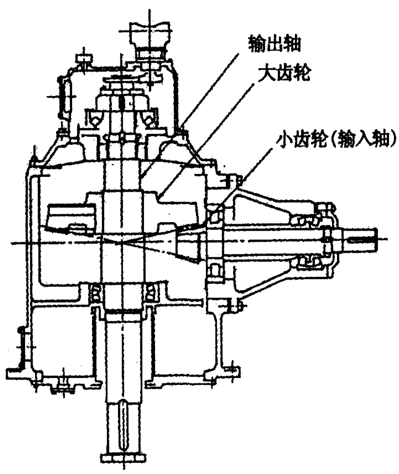

图 1　立式伞型齿轮箱

3　齿轮箱传动的选择原则与方法

3.1　齿轮箱传动的选择原则

年运行时间长的大型泵站中，在水泵机组的使用寿命期(25 年)内，运行费用占总支出的 80% 以上，因此机组的运行效率是最为重要的。另一方面在类似南水北调工程的年运行时间较长的泵站中，对机组的可靠性要求也是不可忽视的重要因素之一。

在国家及行业现行规范中都没有给出泵站采用齿轮箱的选择原则和方法，现参照国外的规范及实际运用提出齿轮箱传动选择的基本原则。

表2　卧(斜)式水泵采用齿轮箱传动的泵站统计表

站名	水泵主要参数					台数	泵型	齿轮箱型式	泵站用途	投运时间
	扬程(m)	流量(m^3/s)	转速(r/min)	功率(kW)	直径(mm)					
埃及 El Mex	4.5	12.5	198	613	1900	6	半调节斜式轴流泵	行星	排涝	1976年
埃及 Drain	3.73	12.0	184	518	1900	4	半调节斜式轴流泵	平行轴	灌溉	1979年
伊拉克 Nassiriyah	5.3	19.4	200	1184	2250	12	卧式轴流泵	行星	灌溉	1986年
埃及 Bahr el Saedy	1.7	7.0	132	136.5	1800	5	半调节斜式轴流泵	行星	灌溉	1989年
奥地利 Wagboden	8.0	30.0	181	2710	2600	2	全调节斜式轴流泵	平行轴	蓄水	1962/63年
日本 Kakurotsu	5.73	12.0	196	870	2200	2	全调节贯流泵	行星	排涝	
埃及 El Salam	2.15	16.5	113	463	2500		斜式轴流泵	平行轴	灌溉	
日本 关根川	2.1	4.57	189	180PS	1400		平面S型轴流泵	行星	农业排水	
日本 三堂川	4.65	5.0	168	480PS	1500		卧式混流泵	行星	城市排水	
日本 新川河口	2.6	40.0	68	1300	4200	6	全调节贯流泵	行星	排水	1970年
中国 新夏港	2.0	15.0	187.5	800	2050	3	斜式轴流泵	平行轴	排水	1998年
中国 秦淮新河	3.5	8.0	250	630	1650	5	卧式轴流泵	平行轴	排水	2003年
中国 盐官	2.80	56.2	90	2000	3800	4	全调节斜式轴流泵	平行轴	排水	1999年
中国 太浦河	1.39	50.0	73	1600	4100	4	全调节斜式轴流泵	平行轴	排水	2002年
中国 裴家圩	1.18	10.0	155	300	1900	5	卧式双向轴流泵	平行轴	供、排水	2004年
中国 梅梁湖	1.15	10.0	140	355	2000	5	卧式轴流泵	平行轴	排水	2004年
中国 妇女河	4.0	5.0	295	560	1445	4	灯泡贯流泵	伞齿	排水	2004年
中国 芦杨	4.0	8.0	295	630	1445	4	灯泡贯流泵	伞齿	排水	2004年

在采用齿轮箱传动时，需要根据传动比、原动机转速、传递功率(容量)及允许的轴向荷载等进行选择，同时有必要进行综合技术经济比较[3]。

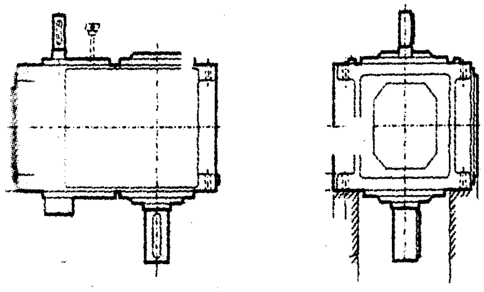

图2　立式平行轴齿轮箱

(1) 可靠性原则

在采用齿轮箱传动时，机组的结构不宜复杂化，机组可靠性应不降低。一方面，由于采用了齿轮箱传动，对轴承和叶片调节机构的布置会有一定的影响，设备增多可靠性可能会降低。另一方面，由于增加了齿轮箱，相应的辅助设备需要增加，是否也会影响机组的可靠性，需要综合考虑。对于年运行时间较长的泵站尤其需要慎重分析。

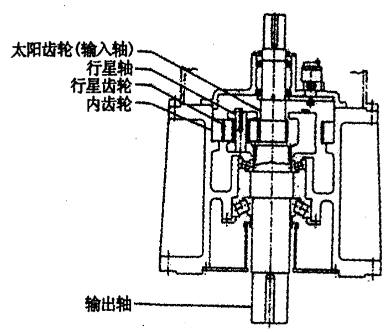

图3　立式行星齿轮箱

(2) 效率不降低原则

采用齿轮箱传动后，由于齿轮箱的存在，传

动效率低于 100%，且随着运行时间的增加，效率还会有所降低。但是采用高速电动机后的铁损和铜损减少也会使效率有所提高。在卧(斜)式机组中，采用齿轮箱传动与直联相比，能够减小空间尺寸，改善进出水流道中的流态，提高水力效率。因此，齿轮箱加上高速电动机的效率不低于原直联机组的效率是采用齿轮箱传动的基本原则，这一点对年运行时间较长的泵站尤为重要。

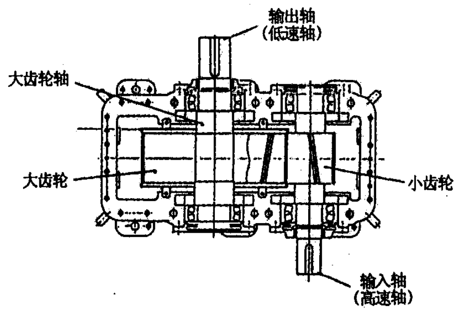

图 4　卧式平行轴齿轮箱

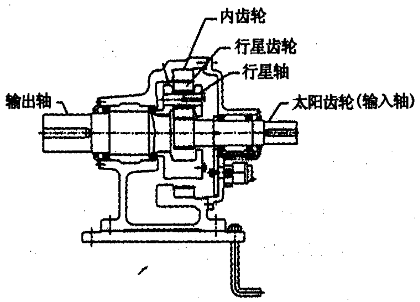

图 5　卧式行星齿轮箱

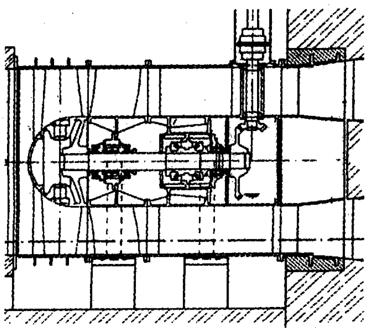

图 6　原动机立式布置贯流泵采用的伞齿轮箱

(3) 技术经济指标合理原则

采用齿轮箱传动后，电动机的转速提高，其重量减小，而且可以采用标准系列的电动机，生产制造成本降低。但是齿轮箱的存在就必须考虑其制造成本，而且齿轮箱的使用寿命低于其它设备，还必需考虑正常寿命期内齿轮箱的更新改造成本，因此，齿轮箱加上高速电动机的价格不应高于直联电动机的价格，即不提高设备成本，保证技术经济指标的合理。

(4) 运行控制方便原则

在采用了齿轮箱传动后，与直联相比，土建结构布置及其电气控制方式等有所不同，因此齿轮箱的选用必须考虑土建结构简洁、运行控制方便等因素，必须遵守有利于土建结构布置、有利于电气设备的控制的原则。

3.2　齿轮箱的选择方法

到目前为止，国家及行业规范中都没有关于水泵配套齿轮箱选择方法的具体规定，但在南水北调东线工程中有相当一批泵站采用了齿轮箱传动，一般是采用行星齿轮箱和少数的平行轴齿轮箱传动。因此现根据西方发达国家的有关规范和生产厂商的选择指南[3-7]，结合前述选择原则提出了齿轮箱的选择方法供泵站设计时参考。

(1) 确定传动比

$$i_S=n_1/n_2$$

式中　n_1——输入转速，r/min

n_2——输出转速，r/min

根据计算的 i_S 值选择标准的较大的额定传动比 i_N，一方面可以尽量减少因非标产品而导致的生产成本的增加，另一方面减小电动机的尺寸。但是必须同时兼顾齿轮箱的尺寸，i_N 的增大会使齿轮箱本身的尺寸增加，而且会引起传动级数的改变。一般情况下尽量采用一级传动或二级传动，既节省齿轮箱的投资，也提高传动效率。

(2) 确定齿轮箱的额定力矩

为保证泵站运行的可靠性，齿轮箱额定力矩的确定需要综合多方面的因素，按下列公式计算额定力矩：

$$P_N=P_2\cdot f_1\cdot f_2$$

式中　P_2——水泵的额定轴功率，kW

f_1——驱动机械型式系数

f_2——为原动机型式系数

对于水泵每天有效运行时间大于 10 h 的情况，f_1 =1.3;每天运行 0.5~10 h 的情况，f_1 =1.2。

电动机为 f_2 =1.0，柴油机为 f_2 =1.25~1.5。

(3) 最大力矩校核

$$P_N\geqslant\frac{T_A n_1}{9550}\cdot f_3$$

式中　T_A 为输入的最大力矩，例如启动力矩、制动力矩或运行中的最大尖峰负载；f_3 为尖峰负载系数，见表 3 所列[6]。

表3　尖峰负载系数表

每小时峰负载次数	1~5	6~30	31~100	>100
稳定直接负载时的 f_3	0.5	0.65	0.7	0.85
交替变化的直接负载时的 f_3	0.7	0.95	1.10	1.25

根据额定传动比 i_N 和额定力矩 P_N 从不同的生产厂家样本中选择齿轮箱的尺寸及传动级数。

(4) 确定必需的热容量

齿轮箱的热容量是影响其自身效率的主要因素，不同冷却型式和不同工作环境下的齿轮箱其热容量不相同，对于年运行时间较长的泵站需要对热容量有充分的考虑，否则将导致运行环境温度急剧升高，不利于其它设备的维护与管理。热容量按下列公式计算：

$$P_G = P_2 \cdot f_4 \cdot f_5$$

式中，f_4 为环境温度系数，见表4；f_5 为公称功率利用系数，不同负载下的系数见表5。

表4　环境温度系数表

齿轮箱结构	环境温度℃	每小时运行比(%)				
		100	80	60	40	20
• 无辅助冷却器 • 有风扇冷却	10	0.88	0.83	0.76	0.65	0.4
	20	1.00	0.94	0.86	0.74	0.5
	30	1.15	1.07	1.00	0.85	0.6
	40	1.35	1.27	1.16	1.00	0.7
	50	1.64	1.54	1.43	1.22	0.9
• 有冷却器 • 有风扇及冷却器	10	0.90	0.85	0.78	0.67	0.5
	20	1.00	0.94	0.86	0.74	0.5
	30	1.11	1.05	0.96	0.83	0.6
	40	1.21	1.14	1.04	0.89	0.6
	50	1.30	1.23	1.12	0.96	0.7

表5　齿轮箱公称功率利用系数表[8]

利用率 P_2/P_N		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8~1.0
公称功率利用系数 f_5	圆柱齿轮	1.90	1.50	1.25	1.15	1.10	1.05	1.00
	圆锥齿轮	1.70	1.40	1.20	1.10	1.05	1.00	1.00

表6　寿命系数表

寿命时间(h)	12000以下	25000以下	35000以下	50000以下	75000以下
寿命系数	1.33	1.00	0.87	0.82	0.72

在日本的规范中[3]，确定齿轮箱额定力矩时考虑了荷载系数和寿命系数，其公式为：

$$传动容量=驱动水泵动力机的功率\times\frac{荷载系数}{寿命系数}$$

采用弹性联轴器时，柴油机荷载系数为1.25、电动机为1.0。寿命系数根据水泵的预计总运转时间(寿命时间)选取，见表6[1]。使用寿命越长，寿命系数越小，即需要的齿轮箱额定力矩越大。

根据可靠性原则，对于立式水泵尤其需要校核齿轮箱的轴承允许轴向荷载，确保轴向力在轴承允许的荷载范围内。

4　结束语

齿轮箱传动已经在不同类型的泵站工程中得到成功应用，而且不乏具有借鉴意义的范例，尤其是在低扬程的卧式泵站的应用[2]。对于南水北调工程中的低扬程泵站，在保证效率、可靠性和降低投资的原则下选用齿轮箱传动是合理的、也是经济的。在选择齿轮箱传动时，由于齿轮箱随着运行时间的增加其传递容量会有所下降，因此在选择时必须留有合适的安全系数，而且结构型式是需要重点考虑的问题。

参考文献：

[1] 厉明祥. 南水北调大型泵结构设计研究[J]. 排灌机械, 2003,21(3):1~5.

[2] 杨洪群等. 淮河入海水道芦杨泵站工程伞齿轮传动贯流泵机组结构选型[J]. 排灌机械, 2004, 22(4):9~13.

[3] [日]农林水产省构造改善局(黄林泉等译).泵站工程设计规范[M]. 北京:水利水电出版社,1990.8.

[4] 胡海啸. 行星齿轮增速器在贯流式机组中的推广应用[J]. 大电机技术,2004, No.3:37~39.

[5] Falk Corporation. DRIVE ONE–Selection Guide [S]. Milwaukee, WI USA. January 2003.

[6] Flender. Gear Units–Guidelines for the Selection[S]. Bocholt, Germany. July 1992.

[7] Brevini. Industrial Catalogue[S]. Filiali Italia(Italy). September 2003.

[8] 成大先. 机械设计手册:减(变)速器电机与电器[S]. 北京:化学工业出版社,2004.1.

（下转第35页）

4.3 泵站自动控制的改造

该站建站后曾多次增设自动化装置，如主机测温设备、巡回检测设备等，但都因技术不成熟、设备元件不过关，现已无法使用。结合本次改造，利用先进实用的计算机技术、自动化监控技术，组成一个分布式网络化多媒体远程计算机监控管理系统。

5 经济效益分析

谏壁抽水站工程年免灾效益为1.689亿元（1991年水平）。工程改造后，1969年设计洪水年型，入江水量由改造前的1.03亿 m^3 增加到改造后的1.68亿 m^3，入湖水量由4.9亿 m^3 增加到5.92亿 m^3，入江入湖水量分别增加0.65亿 m^3 和1.02亿 m^3，合计增加入江、入湖水量1.67亿 m^3。按谏壁站占总湖西入江水量25%计，入江水量为

$$0.65\times25\%=0.162\ 5 \text{ 亿 } m^3$$

占入江入湖总水量的9.75%，谏壁站免灾效益为

$$1.689 \text{ 亿元}\times9.75\%=0.168\ 3 \text{ 亿元},$$

并按6%的年增长率折算1991年以后的各年防洪效益，防洪效益明显，具有经济可行性。

6 结语

泵站改造中主水泵选型、水泵结构形式及部件改造的成功不仅能提高机组效率，安全运行的可靠性，还能大大降低维护工作量，延长机组使用寿命。

（1）通过主机泵的技术改造，可以增加流量40~50 m^3/s，相当于建造一座中型泵站的流量，按每个流量100万元计则可节省造价4 000~5 000万元，而且还减少了土地征用、拆迁移民、青苗赔偿、新建一套管理机构等一系列繁杂的工作，其经济效果是十分明显的。

（2）通过技术改造，提高了谏壁抽水站安全运行的可靠性，提高了泵站抽水效益，增加了抽水流量，为湖西地区的排涝、抗旱、苏南大运河的航运补水，沿运河地区的城镇供水、工业用水提供了可靠的保障，经济效益和社会效益也是十分明显的。

（3）通过技术改造，可以充分发挥谏壁抽水站工程效益，提高抽水站工程管理水平，为实现“国内一流、国际先进”的水利现代化目标而奠定坚实的基础。

参考文献：

[1] 储训，陈履. 大型泵站建设和更新改造对策[M]. 南京：河海大学出版社，2000.11.

[2] 镇江市工程勘测设计研究院. 湖西引排谏壁抽水站增容除险改造工程初步设计[Z]. 镇江市谏壁抽水站管理处，2002.

The Explore of the Main Pump Improvement in Jianbi Pump Station

YUAN Nai-hua, LIN Zhen

(Zhenjiang Jianbi Pump Station Administration Office, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The characteristics and difficult problems in the process of improvement are given. In combined with the practice experience of operation and maintenance in pump station, the effects of structure forms to station maintenance is analyzed, and the huge economic and social benefit with the increase of flux and efficiency after the improvement.

Key words: Main Pump, Jianbi, Improvement

（上接第15页）

Application and Selection Principle of Gearboxes in Pumping Stations

ZHANG Ren-tian, ZHANG Ping-yi

(Jiangsu Surveying & Design Institute of Water Resources Co., Ltd. Yangzhou 225009 China)

Abstract: The applications statuses of gear drives in pumping stations with low head are analyzed, which put forward that different type of gearboxes can be used in pumping stations with different functions and scales. Finally referring to the abroad experience, the basic principles and selection method of gearbox for low -head pumping stations, including reliability, efficiency, economic and operation convenience are suggested.

Key words: Gearbox; Pumping station; Application; Selection; Methodology