

抽水孔风管浸没比 () 设计及其水文地质意义

郑志忠

(福建省 121 煤田地质勘探队, 福建 龙岩 364021)

[摘 要] 通过阐述矿区抽水试验通常需要计算的设计抽水孔风管浸没比 () 等几种技术参数的方法, 以及计算参数的水文地质原理和参数之间的关联性, 结合抽水实例分析合理设计浸没比 () 等参数对于分析判断矿区水文地质条件的重要意义, 并指出正确设计技术参数的实际方法和途径, 对矿区正确开展抽水试验, 保障抽水试验资料的可靠性有指导作用。

[关键词] 水文地质意义; 技术参数设计; 抽水试验

[中图分类号] X143 [文献标识码] B [文章编号] 1004 - 1184 (2010) 04 - 0124 - 02

矿区水文地质条件是矿区重要的开采技术条件。通过矿区水文地质孔开展钻孔抽水试验, 利用试验数据计算获取目的含水层相关水文地质参数, 计算含水层最大涌水量和单位涌水量, 以评价矿区相应含水层含水性、富水性, 进而可以分析评价矿区水文地质条件和判断矿区水文地质类型, 预测矿坑涌水量、确定矿坑疏干排水方案, 确定矿坑疏水影响半径及降落漏斗扩展情形, 了解不同含水水体之间的水力联系情况。

通常对于水位埋藏深度在 60 ~ 70 m 的小口径水文地质孔, 不管水量大小, 均可利用空气压缩机进行抽水。设计施工空气压缩机抽水试验孔, 根据国标 GB12719—1991, 抽水试验前应获得自然流场水位、流量变化趋势和速率的资料, 需要相应的设备、仪器及材料, 并需进行一些必要的设计技术参考数据计算。

1 抽水设计技术参数计算

抽水试验设计技术参数除了抽水孔风管浸没比 () 外, 还有抽水孔空气单位消耗量、抽水风压、出水管直径、发动机功率等。

1.1 风管浸没比 () 的计算

风管浸没比 () 指抽水工作进行状态下动水位以下风管头混合器浸没深度与离开风管头混合器的水气混合体上升高度的比值。由此可知风管浸没比 () 可由下式计算 (见图 1):

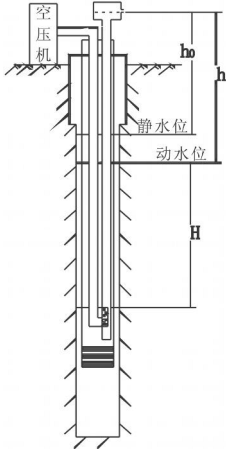


图 1 空气压缩机抽水并列式安装示意图

$$= H / (H + h) \quad (1)$$

式中: 为风管浸没比, H 为从动水位 (据单井稳定流抽水试验要求按降深 5 ~ 10 m 设计) 至风管头混合器的风管浸没深度 (m); 并结合试抽风管浸没深度, h 为从动水位 (据单井稳定流抽水试验要求按降深 5 ~ 10 m 设计) 至离开风管头混合器的水气混合体上升顶界面 (出水口) 之间的高度 (m)。

1.2 空气单位消耗量的计算

空气单位消耗量指抽水工作状态下每抽 1 m³ 水所需的压缩空气体积量 (m³)。空气单位消耗量由下列公式给出:

$$V = K_0 h / 23 \lg [(H + 10) / 10] \quad (2)$$

其中 $K_0 = 2.17 + 0.0164 h$;

上两式中 H、h 所代表意义与前述相同。

1.3 抽水风压的计算

抽水开始时所需的风压称为启动风压 (P₀)。

$$\text{启动风压 } P_0 (\text{大气压}) = 0.1 (H + h - h_0 + 2) (\text{大气压}) \quad (3 - 1)$$

抽水工作状态下的风压称为工作风压 (P_n), 此时抽水孔内的静止水位已转化成动水位, 故

$$\text{工作风压 } P_n (\text{大气压}) = 0.1 (H + L_p) (\text{大气压}) \quad (3 - 2)$$

两式中, H、h 所代表意义与前述相同。h₀ 为开始抽水时抽水孔静止水位至水气混合体上升顶界面 (出水口) 之间的距离 (m); L_p 为空气运送过程中压力损失值 (表示为水柱高度 m, 经验上一般不大于 5 m, 通常取 2 ~ 3 m);

1.4 出水管直径的计算

出水管直径指出水管与风管并列独立安装下的出水管直径 (d)。

$$\text{出水管直径 } d (\text{m}) = [4 \cdot (Q + Q_0) / (\pi \cdot v)]^{1/2} \quad (4)$$

Q 为出水管设计出水量 (m³ / s), 由矿区调查和搜集邻区历史资料给出; Q₀ 为空压机送出的空气容量 (m³ / s); v 为出水管中水气混合体上升速度 (m / s), 按资料 v = 8 ~ 9 m / s。

1.5 发动机功率的计算

发动机为空气压缩机提供动力来源, 动力设备工作必须具有一定的功率要求。发动机功率计算由下式给出:

$$N (\text{马力}) = Qh / (75 \cdot \eta) \quad (5)$$

上式中, h 所代表意义与前述相同,

[收稿日期] 2010 - 05 - 17

[作者简介] 郑志忠 (1969—), 福建仙游人, 高级工程师, 主要从事煤田水文地质工作。

Q 为出水管设计出水量 (1/s),由矿区调查和搜集邻区历史资料给出; 为空气压缩机有效功率系数,一般 =15% ~ 20% ;

2 抽水设计技术参数分析

从上述包括风管浸没比 ()、空气单位消耗量 (V)、启动风压 (P0)、工作风压 (Pn)、出水管直径 (d)、发动机功率 (N) 六种技术参数的计算方法中可以看出,这些技术参数计算需要预先给定一组流量与降深值,即设计动水位和设计出水量。设计出水量应由矿区调查和搜集邻区历史资料给出技术设计参考值,设计动水位应根据单井稳定流抽水试验要求按降深 5 ~ 10 m 设计参考值。

由 (1) 式可以看出,给定设计动水位后,给出一个风管浸没深度,由 (1) 式可以计算出一个设计风管浸没比。

由设计出水量参考值从 (2) 式可以计算出设计空气单位消耗量 (V),水气混合体中空气容量 Q0 为设计出水量的 V 倍。

则:单位时间水气混合体 $Q + Q_0 = v d^2 / 4$

从而由 (4) 式可得出设计出水管直径 (d);

同样由设计动水位从 (3 - 1)、(3 - 2) 式可以给出空压机启动风压 (P0) 及工作风压 (Pn),抽水风压以大气压为计算单位,1 个标准大气压相当于 10. 3333 m 水柱所产生的压力,即约为 10 m 水柱压力。

由给定的设计动水位参考值可以给出水柱上升高度 h,从而由 (5) 式计算出所需要的发动机功率 (N)。

$N(\text{马力}) = Qh / (75 \) = V \cdot v / (75 \)$,

上式中符号代表意义与前述相同,所得数值表示发动机完成给出速度为 8 ~ 9 m/s 的 1 流量体积 (l) 的水最少所需要做的功。

3 抽水风管浸没比 () 设计技术参数水文地质意义

从上述 (1) 式可以看出,风管的浸没深度越大,风管浸没

表 1 风管浸没比、扬程 h、空气单位消耗量 V 之间的对应关系表

h	0. 4					0. 5					0. 6				
	5	10	20	30	40	5	10	20	30	40	5	10	20	30	40
V	3. 92	4. 57	5. 90	7. 28	8. 71	2. 78	3. 37	4. 55	5. 77	7. 03	2. 01	2. 55	3. 61	4. 69	5. 82

4 应用实例

福建永定东中田地石灰石矿区在 2007 年补充勘探时为了了解矿区露天开采下二叠栖霞组石灰岩矿床时其自身直接含水层的富水性及其渗透性,在矿区西部施工了 60 号水文地质孔,该水文孔开始使用深井泵抽水,水位降深及水位、流量稳定状态远达不到要求,抽水试验工作不成功。后改用空气压缩机进行抽水。通过抽水试验获得了矿区下二叠栖霞组石灰岩矿床自身直接含水层的渗透系数、单位涌水量等水文地质参数。下表抽水试验技术参数表是抽水试验后形成的实际技术参数 (见表 2)。

表 2 永定东中田地石灰石矿区 60 号水文孔抽水试验技术参数表

次数	h ₀ (m)	h (m)	H (m)		V (m ³)	P ₀ (大气压)	P _n (大气压)	d (m)	N (马力)
第一次	3. 18	5. 98	31. 52	0. 84	0. 954	3. 098 设: 3. 632	3. 485 设: 3. 452	0. 063	5. 07
第二次	3. 46	5. 13	23. 37	0. 82	0. 961	2. 711 设: 2. 704	2. 807 设: 2. 637	0. 053	3. 57
第三次	3. 25	4. 45	15. 05	0. 77	1. 088	1. 839 设: 1. 825	1. 839 设: 1. 805	0. 049	2. 48

比 () 越大,从空气压缩机的额定风压考虑,随着抽水开始,动水位下降,浸没深度小,浸没比 () 值变小,即随着抽水继续,水位降深加大,风管浸没比 () 逐渐由大变小,又从上述 (2)、(3 - 1)、(3 - 2) 式可以看出,风管浸没越深,浸没比 () 值大,空气单位消耗量越小,相同出水管,则出水量相对增加,但所需风压增大,相反,风管浸没越浅,浸没比 () 值小,所需风压小,但空气单位消耗量大 (见表 1),相同出水管,则出水量相对减少,故过小的风管浸没比将使抽水出水出现不连续甚至抽不上水,通常风管浸没比 () 值不应小于 0. 5 ~ 0. 6,按照风管浸没深度与水柱上升高度之比 (H/h),一般一应小于 0. 8 ~ 1. 2,最好能达到 1. 5,则风管浸没比 () 值为 0. 6,故一般要求实际风管混合器浸没位置至水柱上升顶界面 (出水口) 之间的高差为设计动水位至出水口之间高差的 1. 8 ~ 2. 5 倍。由于风管浸没越深,所需风压增大,受空气压缩机的额定风压限制,抽水启动风压不超过空气压缩机的额定风压,当启动风压为空气压缩机的额定风压时,从 (3 - 1) 式可以看出,风管混合器地下埋深不大于 (10P0 - 2) m。

通过以上分析,正确设计包括抽水风管浸没比 () 在内的抽水技术参数对抽水试验工作具有重要的意义。通过抽水试验能够获取的直接试验数据是流量与降深的对应数据对,只有设置了合适的流量和降深值,才能计算出合适的抽水设计技术参数,按照合适的抽水技术参数安装风管等技术设备,才有可能做到节省时间、降低成本、保障并提高水文地质孔抽水试验资料成果质量。所以做好抽水试验工作,既要做好前期地质—水文地质工作,了解矿区自然流场水位、流量变化趋势,还必须配置合适的抽水设备,保障抽水试验工作顺利、可行、可靠。

从实际技术参数和设计技术参数中可以看出,随着各次抽水风管浸没比的降低,工作风压及动力设备功率逐渐降低,过高的风管浸没比造成了设计抽水风压小于实际抽水风压,还造成了实际空气单位消耗量远远大于实际扬程所对应需要消耗的空气量,增加设备负荷及浪费耗能,造成了各次抽水水位降深变小,在影响半径和流量趋于稳定的情况下,影响了目的含水层计算水文地质参数的可靠程度,永定东中田地石灰石矿区 B 矿段东侧 2 号矿层硐采灰岩水侧向补给流量达 6 100 m³ /h,实际上造成了各水平预测矿坑涌水量偏大。

(下转第 152 页)



表 4 水文比拟法径流量计算成果表

工程	P (%)	50	75	90	95	多年平均
石 门 河	流域面积 (km ²)	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0
	设计年降水量 (mm)	721	607	519	472	740
	设计年径流深 (mm)	100	70	63	61	143
	设计年径流量 (万 m ³)	388	273	244	239	558
横 榆 河	流域面积 (km ²)	78.0	78.0	78.0	78.0	78.0
	设计年降水量 (mm)	721	607	519	472	740
	设计年径流深 (mm)	100	70	63	61	143
	设计年径流量 (万 m ³)	778	549	489	479	1120

表 5 设计流域年径流量计算成果表 (径流深等值线法)

工程	均值	Cv	Cs/Cv	项 目	多年 平均	50%	75%	90%	95%
石 门 河	150 (mm)	0.6	3.5	年径流深 (mm)	150	121	86.1	71.8	68
				年径流量 (万 m ³)	585	471.9	335.8	280.0	265.2
				年径流深 (mm)	150	121	86.1	71.8	68
				年径流量 (万 m ³)	1170	943.8	671.6	560.0	530.4
横 榆 河	150 (mm)	0.6	3.5	年径流深 (mm)	150	121	86.1	71.8	68
				年径流量 (万 m ³)	1170	943.8	671.6	560.0	530.4
				年径流深 (mm)	150	121	86.1	71.8	68
				年径流量 (万 m ³)	1170	943.8	671.6	560.0	530.4

3.1.4 径流系数等值线计算

运城城市第二次水资源评价成果中,绘制了多年年径流系数等值线图,从该图查出设计流域的年径流系数为 0.10,乘以本流域多年平均降水量 740 mm,则多年平均径流深为 74.0 mm,由此计算得石门河设计流域多年平均径流量为 288.6 万 m³,横榆河设计流域多年平均径流量为 577.2 万 m³。

3.2 设计年径流计算成果合理性分析

上述不同方法计算两工程的设计年径流深对比见表 6。

表 6 两工程设计年径流深计算成果对比表 mm

工程	计算方法	多年 平均	50%	75%	90%	95%
石 门 河	运城地区水文计算手册法	842.8	786.6	522.8	364.4	285.8
	水文比拟法	558	388	273	244	239
	多年平均年径流深等值线法	585	472	336	280	265
	多年平均径年流系数等值线法	288.6				
横 榆 河	运城地区水文计算手册法	1686	1573	1046	728.7	571.5
	水文比拟法	1120	778	549	489	479
	多年平均年径流深等值线法	1170	944	672	560	530
	多年平均径年流系数等值线法	577.2				

从上表对比看出,采用运城地区水文计算手册计算的年径流深最大,多年平均年径流深等值线法计算结果次之,多年平均年径流系数等值线法计算结果最小。

经分析,运城地区水文计算手册采用的降水、径流资料系列至 1972 年,建立的降雨径流关系代表七十年代以前产汇流水平,而从板涧河流域乃至全省普遍情况看,上世纪五十年代至 1965 年以前正是丰水系列,所以采用地区水文计算手册计算成果偏大。

王家河泗交水文站流域和设计流域在地理位置、气候条件以及流域下垫面条件等方面非常相似,多年平均面雨量与设计流域基本一致,属于同一水文地理分区,借用泗交水文站实测年降水和年径流关系推求本次设计流域河川径流量的方法符合《水利水电工程水文计算规范》(SL278 - 2002)规定,采用的资料系列为 1977 年 ~ 2005 年 29 年的平、枯水系列,更符合现状产汇流条件,推求的设计年径流成果对供水工程是偏于安全的,成果合理可靠,为文推荐成果。

年径流深等值线图 and 年径流系数等值线图受资料及人为因素影响较大,采用这两种方法计算的设计年径流量成果,一般仅作对比分析。

4 结论

1) 石门河工程以上控制流域面积 39.0 km²,流域主沟道长度 10.5 km,流域平均坡降 23.3‰;横榆河工程以上控制流域面积 78.0 km²,流域主沟道长度 11.5 km,流域平均坡降 25.8‰。

2) 本次设计工程所在流域为少资料地区,借用相似流域王家河流域泗交水文站实测年降水和年径流关系推求其河川径流量的方法符合《水利水电工程水文计算规范》(SL278 - 2002)中 3.5.7 条之规定。采用的资料系列为 1977 年 ~ 2005 年 29 年的平、枯水系列,更符合现状产汇流条件,由此推求的设计年径流量成果对供水工程而言是偏于安全的,故推荐该成果。

3) 采用上述推荐成果,石门河工程多年平均径流量 558 万 m³,50% 年份入库径流量 388 万 m³,75% 年份入库径流量 273 万 m³,90% 年份入库径流量 244 万 m³,95% 年份入库径流量 239 万 m³;横榆河工程多年平均径流量 1120 万 m³,50% 年份入库径流量 778 万 m³,75% 年份入库径流量 549 万 m³,90% 年份入库径流量 489 万 m³,95% 年份入库径流量 479 万 m³。

(上接第 125 页)

5 结语

目前许多矿区为了缩短勘探工期以及勘探成本,常常把矿区详查和勘探阶段合并,布置水文地质孔进行矿区水文地质勘探工作,往往缺少矿区在预查和普查阶段必要的自然流场水位、流量变化趋势和速率的资料,忽视水文孔抽水试验应该设计合适的抽水孔风管浸没比等抽水设计技术参数,给抽水设备、仪器的安装带来盲目性,造成抽水试验结果失真,对于正确分析评价矿区含水层水文地质特征和预测矿坑涌水量工作造成欲速而不达的后果。相反,调查搜集丰富的矿区水文地质资料以设置相对合适的抽水试验风管浸没比等技术参数,才能获得更加接近实际的矿区抽水试验资料,为分析预测矿区水文地质特征变化规律提供可靠的基础资料

保障。

参考文献

[1] 福建省 121 煤田地质勘探队. 福建省永定东中—田地石灰石矿区详查地质报告. 龙岩, 2007.
[2] 福建省 121 煤田地质勘探队. 福建省永定东中田地石灰石矿区 60 水文孔抽水试验观测记录. 龙岩, 2007.
[3] 北京地质学院地质教研室. 水文地质学. 北京:地质出版社, 1978.
[4] 地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队. 水文地质手册. 北京:地质出版社, 1983.
[5] 中华人民共和国国家标准 (GB12719—1991). 矿区水文地质工程地质勘探规范.