

(10)

48-50.57

不衬砌隧洞的糙率

张良然

TV554

(南昌大学水利电力工程系 南昌 330029)

摘要 介绍不衬砌隧洞糙率的原型观测成果及分析方法,并根据仰山三级电站引水隧洞的实测资料,得出当量粗糙度与隧洞壁面最大不平整度的平均值的比值为1.68,绘制出当量粗糙度与不衬砌隧洞糙率的关系曲线。

关键词 不衬砌隧洞 糙率 当量粗糙度 最大不平整度

隧洞

水电工程建设中,许多工程用于引水、导流和泄洪的隧洞,在围岩良好的隧洞中,为了充分利用岩石自身的承载能力,节省材料和投资,有时对隧洞不加衬砌,或只在岩体破碎段进行衬砌或局部衬砌。设计过程中,在进行水力计算时,需要知道不衬砌隧洞的糙率 n 值或沿程阻力系数 λ 之值。由于影响糙率 n 值的因素十分复杂,目前还不能用理论公式进行正确计算。尼古拉兹曾经对人工粗糙管道进行过系统的试验和研究,提出了计算沿程阻力系数 λ 的计算公式和试验曲线,其研究成果十分丰富。但不衬砌隧洞不同于人工均匀粗糙管道,实际开挖出来的隧洞,表面形态比较复杂,除了表面有较大的凹凸度外,沿纵向的断面形状和大小也有变化。在模型试验中也很难做到表面粗糙度与实际情况的真正相似。因此,通过模型试验来确定不衬砌隧洞的糙率 n 值也比较困难。如何正确估算不衬砌隧洞的 n 值,直接关系到工程的经济效益和运行安全。过去,在进行水力计算时,一般是采用类比的方法来选取糙率 n 值。如原苏联一般采用 $n=0.03\sim 0.045$,瑞典采用 $n=0.03\sim 0.04$,我国柘溪水电站总结出在较完整的岩石开挖整修后的洞壁,其

糙率 n 值为 $0.03\sim 0.032$;在节理、裂隙发育地带,未经修整, $n=0.035\sim 0.04$,如刘家峡水电站的导流隧洞(底部用混凝土抹面),实测糙率 $n=0.037$ 。由于影响不衬砌隧洞糙率的因素较多,具体选用 n 值就比较困难。能否使用一种简单实用的估算方法,使 n 的取值合理、可靠,具有重要的实际意义。本文通过对已建隧洞在运行中的原型观测资料,对不衬砌隧洞的糙率进行分析和研究。

1 原型观测成果

江西省奉新县仰山三级电站装机容量为 $2500\times 2\text{ kW}$,单机流量为 $1.7\text{ m}^3/\text{s}$ 。引水系统由进水口、隧洞、调压井和压力钢管组成。隧洞全长 912.93 m 。原设计为钢筋混凝土全断面衬砌,圆形断面,内径为 1.8 m 。隧洞开挖后,发现大部分洞段围岩为新鲜完整的花岗岩,节理裂隙不发育,洞壁干燥或只有轻微潮湿现象。为了缩短工期,节省经费,决定对该隧洞不作衬砌,只在弯道段和岩体破碎段进行了全断面衬砌。为施工方便,隧洞底部用混凝土填平。隧洞建成后运行多年,曾数次停机进洞检查,未发现围岩掉块、坍塌等现象。不衬砌隧洞的糙率 n 值,未测试过。为

作者简介:张良然,男,副教授,从事水力学、流体力学教学工作,曾发表《管流中几个水动力学问题的分析》等论文。

了确定该隧洞不衬砌段的糙率值,我们与奉新县水电局合作对该隧洞进行了原型观测。本次观测共布设了3个水头测点,测点Ⅰ设在进水口的通气孔兼进入孔处;测点Ⅱ设在桩号为0+566.3m处,该处有原用于地质勘探的钻孔,此钻孔正好位于不衬砌隧洞段的顶部,且钻孔保存良好、畅通,可用来测量水位;测点Ⅲ设在调压井处。流量的测量选在电站尾水渠上的标准断面处,采用LS 231型流速仪测量隧洞的流量。各测点的水位测量每次均在约定的同一时间内同步进行。

该引水隧洞有13个洞段进行了全断面衬砌,衬砌段总长度为370.4m,其余为不衬砌洞段。这样,各观测段实测的水头损失中包括了衬砌段的沿程水头损失和局部水头损失。衬砌洞段施工采用光滑模板,施工质量较好,接缝较平滑,其糙率 n 选为0.014。衬砌段与不衬砌段的连接处,按突然扩大或突然缩小计算局部水头损失。将各测段中实测的水头损失值减去该段内衬砌部分的沿程水头损失和局部水头损失,即为该段内不衬砌洞段的水头损失,实测成果见表1所示。

按达西公式计算沿程水头损失:

$$h_f = \lambda \frac{l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

式中 R 为水力半径; l 为不衬砌隧洞段的长度; v 为不衬砌隧洞的断面平均流速。

由式(1)得:

表1 不衬砌隧洞的水头损失

流量 $Q/m^3 \cdot s^{-1}$	测段号	测段长 m	衬砌隧洞段长 L/m	全段水头损失 h_w/m	段内局部水头损失 h_j/m	衬砌段水头损失 h_f/m	不衬砌段水头损失 h_f/m
2.5	1	566.3	274	0.65	0.170	0.151	0.329
2.5	2	331.1	96.4	0.43	0.109	0.051	0.270
1.9	1	566.3	274	0.38	0.10	0.087	0.193
1.9	2	331.1	96.4	0.24	0.063	0.030	0.147

表2 不衬砌隧洞段综合糙率计算表

断面面积	水力半径	流量	断面平均流速	段号	计算长度	水头损失	沿程阻力系数	综合糙率	段平均糙率	平均糙率	
A/m^2	R/m	$Q/m^3 \cdot s^{-1}$	$\bar{V}/m \cdot s^{-1}$	号	L/m	h_f/m	λ	$n_{综}$	$n_{综,段}$	$\bar{n}_{综}$	
4.14	0.5	2.5	0.604	1	292.3	0.329	0.1210	0.035	0.0352	0.035	
				2	234.7	0.270	0.1234	0.0353			
		1.9	0.459	1	292.3	0.193	0.1233	0.0352	0.0348		
				2	234.7	0.147	0.1160	0.0343			

$$\lambda = \frac{8gRh_f}{v^2 l} \quad (2)$$

引入谢才公式:

$$v = C \sqrt{RJ} = C \sqrt{R \frac{h_f}{l}} \quad (3)$$

式中 C 为谢才系数, J 为水力坡度。

由曼宁公式:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (4)$$

而

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$$

则

$$n = \frac{\sqrt{\lambda R^{1/6}}}{\sqrt{8g}} \quad (5)$$

该隧洞有比较完整的开挖竣工横断面图。根据其竣工横断面图,推算出不衬砌段隧洞的平均断面积 $A = 4.14 m^2$,量得其湿周 $x = 8.28 m$ (其中洞底部混凝土部分的湿周为1.828m),水力半径 $R = A/x = 0.5 m$,将实测的沿程水头损失 h_f 、过洞实测流量 Q 及洞长 l 等值代入式(2)、(5),即可算得不衬砌隧洞的综合糙率 $n_{综} = 0.035$,计算成果如表2所示。

表2中所得的糙率是不衬砌隧洞的综合糙率,为了得到不衬砌隧洞的糙率值,应将其综合糙率进行分解,可用下面公式计算:

$$n_{综} = \sqrt{\frac{n_1^2 x_1 + n_2^2 x_2}{x_1 + x_2}} \quad (6)$$

式中 $n_{综}$ 为不衬砌隧洞的综合糙率; n_1 为

混凝土糙率; n_2 为不衬砌隧洞的糙率; x_1 为混凝土垫层的湿周; x_2 为不衬砌隧洞部分的湿周。将 $n_{综}$, n_1 , x_1 , x_2 各值代入式(6), 算得仰山三级电站引水隧洞不衬砌段的糙率 n 为 0.038。

2 成果分析

2.1 糙率 n 与当量粗糙度 K_s 的关系

不衬砌隧洞不同于人工粗糙管, 它属于非均匀大粗糙度问题。摩迪曾通过试验提出了非均匀粗糙管沿程阻力系数 λ 的经验公式:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \frac{3.7D}{K_s} \quad (7)$$

式中 D 为洞径, K_s 为隧洞的当量粗糙度, 相当于具有同一 λ 值的人工粗糙管中的砂粒直径 Δ 值, 即为洞壁的平均粗糙度, m。应用式(7)计算时, 关键在于确定 K_s 值, 而 K_s 值不是一个可直接测得的数据。一般采用经验公式来计算 K_s 值, 建议用下式计算

$$K_s = \sqrt{4/\pi}(\sqrt{A_m} - \sqrt{A_n})$$

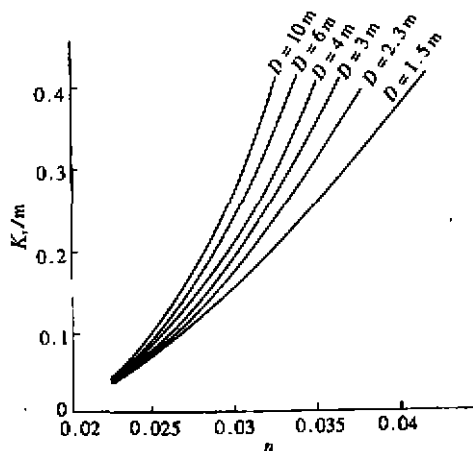
式中 A_m 为隧洞开挖的平均断面积, A_n 为最小开挖断面积。但在具体应用此式时, 必须待隧洞开挖完成后, 才能求出 A_m 及 A_n 值。故在设计阶段使用不太方便。现将 n 与 K_s 的关系整理如下, 以便计算时参考。

将式(7)代入式(5)得

$$n = \frac{R^{1/6}}{2\sqrt{8g} \cdot \lg \frac{3.7D}{K_s}} \quad (8)$$

式(8)为糙率 n 与当量粗糙度 K_s 的关系式, 式中 R 为隧洞的水力半径。现以洞径 D 为参数, 按式(8)绘制 n 与 K_s 的关系曲线如附图所示。

图中绘制了洞径 $D = 1.5 \text{ m}, 2.3 \text{ m}, 3 \text{ m}, 4 \text{ m}, 6 \text{ m}, 10 \text{ m}$ 等 6 条 $n \sim K_s$ 关系曲线。应用该图, 由 n 值可查出当量粗糙度 K_s 值。反之, 可由 K_s 值查出 n 值。如仰山三级电站引水隧洞不衬砌段的糙率 $n = 0.038$, $D = 2.3 \text{ m}$, 从附图中查得该隧洞的当量粗糙度 $K_s \leq 0.38 \text{ m}$ 。



附图

2.2 当量粗糙度 K_s 与最大不平整度 Δ 的关系

K_s 值与施工技术 & 施工质量有关, 即与隧洞开挖的不平整度有关。为了获得洞壁面的不平整度, 在电站停机检修期间, 对隧洞进行了实地观测, 自洞口而下选择洞壁面起伏突出部分、抽样测量了几十个断面的凹凸高度的最大值(用直尺贴于洞壁, 测量洞壁与直尺之间的最大距离)。获得洞壁最大不平整度的平均值 $\bar{\Delta}$ 为 64 cm。由实测的糙率 n 值代入式(8)可算出该隧洞的当量粗糙度 $K_s = 38 \text{ cm}$ 。由此

$$\bar{\Delta}/K_s = 0.64/0.38 = 1.68 \quad (9)$$

式(9)表明, 该隧洞实测的最大不平整度的平均值 $\bar{\Delta}$ 为其当量粗糙度 K_s 的 1.68 倍。

有了上述关系式, 在一般情况下, 可根据开挖技术和施工经验, 预先确定洞壁面的 $\bar{\Delta}$ 值, 由式(9)求得 K_s 值, 再将其代入式(8)即可求得糙率 n 值; 也可采用工程类比方法, 即先选定 n 值, 并由式(8)算得 K_s 值, 而 $1.68K_s$ 即为隧洞开挖中最大不平整度的限制标准, 也可以从曲线图中查出 K_s 值。

目前, 在这方面的原型观测资料比较少, 观测方法和手段有待进一步改进和提高; 另外, 对于 $\bar{\Delta}$ 与 K_s 的比例关系及 Δ 如何量取等问题, 还没有统一的认识。为此, 仰山三级电站引水隧洞原型观测所得的结果带有一定的局限性, 作为一种探索。进一步积累这方面的观测资料是有重要意义的。(下转第 57 页)

重淤积的机井高达 50 多米。由于水源不足和淤积严重,在抗旱中不能运行的机井已占到机井总数的 10% 左右。

2.3 供电不正常,电压低,事故增多

在抗旱期间,由于供电不正常,电压低,造成机井事故增多,管理不便。水泵停运,电机损坏时常发生,据调查,此类情况引起不能运行的机井达到 10.2%,给农业生产带来极大损失。

2.4 能源单耗高、效率低、抗旱水费成本增大

由于机泵无法得到及时更新改造,所以一直处于高耗低效状态运行。根据部颁 SD188-16《农用机井技术规范》规定,机井装置效率电配不低于 35%,但调查结果表明,陕西省配套机井完好率仅为 60% 左右,能源单耗平均 $12 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{kt}\cdot\text{m}$,单井装置效率平均 20% 左右,有的机井能源单耗高达 $30\sim 40 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{kt}\cdot\text{m}$,致使抗旱水费增大,群众负担加重。

2.5 水有效利用率低

截止 1996 年 6 月,陕西省单井衬砌平均(含低压管道)约 30m,亩均不足 1m,水有效利用系数约为 0.6,水量浪费较为严重。

3 建议

3.1 制定机井更新改造规划

目前,陕西省井灌工程设施老化失修,长期带病运行已到非解决不可的时候,否则井灌面积会大幅度下降,纯井灌区的水浇地重新变为旱作田,使农业增产,粮食产量上台阶受到影响。所以对全省井灌工程进行全面分类规划,是保证粮食稳步增长之关键。一方面对机井报废多的灌区,按照“六有三端一平”(有井房、井台、井盖、出水池、量水设施、电器仪表;渠道、道路、低压线路端直;土地平整,实行小畦灌溉)和“三表一闸”(电度表、电流表、压表和闸刀)标准,逐年进行更新;另一方面对可运行的高耗低效

机井进行测试改造,使能源单耗在 $7 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{kt}\cdot\text{m}$ 以下的机井达到 30%,提高抗旱能力。

3.2 理顺渠道,解决更新改造资金

关中是陕西省主要井灌区,占全省机井总数的 87%,关中机井更新改造已在省委、省政府“关于加强农业若干决定”中提出,要付诸实施,关键是资金问题。首先,“九五”期间应把机井更新改造和测试改造列入计划,由农业综合开发项目,小型水利经费,以工代赈等资金给以倾斜;其次,充分发动群众,坚持以群众自办为主,以个人、联户、股份合资、贷款等形式筹集资金,按规划进行打配机井,修建配套工程,并制定民办水利有关优惠政策;第三,进行产权制度改革,可以采取拍卖、承包、租赁、股份合作等切实可行、灵活多样的管理办法,把工程的建设管护责任真正落实。

3.3 改善供电条件,保证抗旱用电

各级政府在抗旱季节,应协调供电部门,搞好工农业用电的合理分配,制定向农业抗旱灌溉供电的倾斜政策,保证抗旱中的灌溉用电,为农业增产提供保证。

3.4 积极推行节水灌溉

陕西省水资源短缺,供需矛盾突出,发展节水灌溉势在必行。“九五”期间,井灌工程配套应把推行低压管道、“U”型渠衬和小畦灌溉列入计划,制定节水灌溉统一规划。在推行节水灌溉中,首先,解决思想认识问题,提高广大干部群众的节水意识,要求各地水行政主管部门应把节水作为一项大事来抓;其次要制定优惠政策和奖罚政策,如采取国家投资和群众自筹资金结合,利用贴息贷款,并对超定额灌水加收水费,节约用水给以奖励等办法,以加快节水型农业建设步伐,把陕西省井灌区真正建成节水型灌溉示范区。(收稿日期:1996-07-01 编辑:许宇鹏)

(上接第 50 页)

3 结 语

从以上实测成果分析,得出仰山三级电站引水隧洞的当量粗糙度 K_s 与壁面的最大不平整度的平均值 $\bar{\Delta}$ 的关系为 $\bar{\Delta}/K_s = 1.68$,它将 K_s 与洞壁的不平整度联系起来,即与洞壁面施工控制标准联系起来。并备有 $n \sim D \sim K_s$ 关系曲线,以备用。由于这方面的实测资料较少,此关系还需取得更多的实测资料来验证。

参考文献

- 1 松辽水利委员会科学研究院等编. 水工建筑物水

力学原型观测. 北京:水利电力出版社,1988

- 2 许荫椿、胡德保、薛朝阳主编. 水力学. 北京:科学出版社,1990
- 3 周胜. 不衬砌岩石隧洞的摩阻损失. 水利水电科学研究院科学研究论文集第三集. 北京:中国工业出版社,1963
- 4 美国陆军工程兵团编. 水力设计准则. 王诤昭、张元禧等译. 北京:水利出版社,1982
- 5 武汉水利电力学院水力学教研室编. 水力计算手册. 北京:水利出版社,1980

(收稿日期:1996-06-21 编辑:许宇鹏)